Bayerische StaatsBibliothek
Münchener DigitalisierungsZentrum Digitale Bibliothek

Günther, Siegmund

Handbuch der Geophysik zwei Bände

Bd.: 2

1899

BHS II A 62-2
urn:nbn:de:bvb:12-bsb12027565-7

BHS II A 62-2

Bayerische Berg-, Hütten- und Salzwerke Aktiengesellschaft
Bibliothek:
Gruppe II A
B.Nr. 62

<36640777210019

<36640777210019

Bayer. Staatsbibliothek

HANDBUCH

DER

GEOPHYSIK.

VON

DR. SIEGMUND GÜNTHER,
O. PROFESSOR AN DER TECHNISCHEN HOCHSCHULE IN MÜNCHEN.

ZWEI BÄNDE.

Zweite gänzlich umgearbeitete Auflage.

ZWEITER BAND.

MIT 230 ABBILDUNGEN.

BIBLIOTHEK
DER K.B.GENERAL
BERGW. U. SALINEN
ADMINISTR.

STUTTGART.
VERLAG VON FERDINAND ENKE.
1899.

Druck der Union Deutsche Verlagsgesellschaft in Stuttgart.

Bayerische
Staatsbibliothek
München

SEINEN GEEHRTEN FREUNDEN,

DEN PROFESSOREN

ANTONIO FAVARO

UND

GIOVANNI MARINELLI,

VEREHRUNGSVOLL GEWIDMET

VOM

VERFASSER.

Vorwort.

Für den zweiten Band des vorliegenden Werkes gilt im wesentlichen, was für den ersten gesagt wurde; vor allem möge sich der Leser stets gegenwärtig halten, dass es ein „Handbuch“ und kein „Lehrbuch“ ist, das er vor sich hat. Der Zweck, möglichst auf jede der zahlreichen Fragen, zu deren Stellung die Geophysik Anlass gibt, eine — wenn auch nur kurze und auf Andeutungen beschränkte — Antwort zu erteilen, wurde unverrückt im Auge behalten, und eben diesem Zwecke dienen auch die Litteraturangaben, bezüglich deren der Verfasser den Vorhalt, sie seien zu zahlreich, mit Gelassenheit erträgt. Derjenige, der die einzelnen Abschnitte als Repertorium gebraucht, nicht, um bloss eine allgemeine Orientierung zu erlangen, sondern um für eigene Arbeit sich Rats zu erholen, wird sich ebenfalls den anscheinenden Ueberfluss gerne gefallen lassen.

Auch diesmal darf betont werden, dass die Einteilung nach Möglichkeit beibehalten wurde; doch liess es sich nicht vermeiden, den Inhalt einzelner Kapitel etwas anders zu gliedern. Das der Natur der Sache nach sehr umfassend gewordene Schlusskapitel musste im Interesse einer richtigen Systematik manches aufnehmen, was in der ersten Auflage der Lehre von den Gletschern und von den Binnengewässern zugeteilt gewesen war. In der Atmosphärologie ergab sich die Notwendigkeit, das frühere zehnte Kapitel in zwei selbständige Kapitel zu zerlegen.

Die Absicht, beide Bände möglichst gleich stark zu machen, konnte freilich nicht verwirklicht werden, da sich der Stoff der fünften und achten Abteilung als ein allzu umfänglicher erwies. Der Verlags-

handlung gebührt des Verfassers aufrichtiger Dank für die Bereitwilligkeit, mit welcher sie in die Vergrösserung des Volumens willigte. Wegen des allzu grossen Umfanges musste auch ein Sach-Index leider wegfallen.

Wie früher, so ist, und zwar in noch gesteigertem Maſse, der Autor Herrn Reallehrer Bodky in Nürnberg Dank schuldig für die treue, nachhaltige und höchst sachkundige Unterstützung, welche er dem Verfasser bei der wahrlich nicht leichten Durchsicht und Korrektur der Druckbogen angedeihen liess. Ihm, und in zweiter Linie Herrn Reallehrer Dr. Pixis in Landau i. P., ist es wesentlich zu danken, wenn, wie zu hoffen steht, ein hoher Grad von Korrektheit erzielt wurde. Um die Anfertigung der Indices haben sich ebenso Dr. Pixis, ferner die Herren Professor Künssberg (Dinkelsbühl) und Reallehre-Kantschuster (München) viel Verdienst erworben. Herr Professor Dr. van Bebber (Hamburg) erwies dem Verfasser den Freundschaftsdienst, ihm bei der Ausarbeitung des meteorologischen Teiles mit seinem schätzbaren Rate zur Seite zu stehen. Für Beratung in einzelnen Fällen ist der Verfasser endlich Herrn Pfarrer M. Maier (Schaufling) und Herrn Gymnasiallehrer Dr. Littig (München) zu Dank verbunden. Herr Dozent Dr. A. v. Böhm (Wien) stellte in liebenswürdigster Weise seine reichhaltigen Kollektaneen zur Verfügung.

Das Studium der physikalischen Geographie befindet sich zur Zeit allenthalben, ganz besonders aber in unserem Vaterlande, in entschiedenem Aufschwung. Möge sich dieses Handbuch auch fernerhin als ein nützliches Mittel zur Förderung des Studiums sowohl wie auch der selbständigen Forschung auf diesem Gebiete bewähren!

München, im September 1899.

S. Günther.

Inhaltsverzeichnis.

Fünfte Abteilung.

Die Lehre von der Atmosphäre.

Kapitel I. Die allgemeinen Eigenschaften der Atmosphäre.

		Seite
§. 1.	Begriffsbestimmungen	1
§. 2.	Geschichtliches und Litterarisches über Meteorologie	2
§. 3.	Die Gestalt der Atmosphäre	6
§. 4.	Die Ausdehnung der Atmosphäre	7
§. 5.	Aërostatische Grundgesetze	10
§. 6.	Die Luft und die Wärme	11
§. 7.	Die Zusammensetzung der Atmosphäre	13
§. 8.	Die Hauptbestandteile der Atmosphäre	14
§. 9.	Die akzessorischen Bestandteile der Atmosphäre	17
§. 10.	Festkörper in der Atmosphäre	18
§. 11.	Der atmosphärische Wasserdampf	21
§. 12.	Tau, Reif, Rauhfrost und Glatteis	24
§. 13.	Nebel und Wolken	27
§. 14.	Regen-, Schnee- und Eisfall	36
§. 15.	Akustische Erscheinungen	41
Citate		43

Kapitel II. Die Beobachtungs- und Berechnungsmethoden der Meteorologie.

§. 1.	Allgemeines über Instrumente	47
§. 2.	Thermometer	48
§. 3.	Ermittelung der wahren Lufttemperatur	51
§. 4.	Thermische Registratoren	52
§. 5.	Quecksilberbarometer	55
§. 6.	Federbarometer	56
§. 7.	Automatische Aufzeichnung des Luftdruckes	58
§. 8.	Die barometrische Höhenmessung	60
§. 9.	Die thermometrische Höhenmessung	64
§. 10.	Hygro- und Psychrometer	65
§. 11.	Verdunstungsmessung	68
§. 12.	Regenmesser	70
§. 13.	Apparate zur Bestimmung von Windrichtung und Windstärke	71
§. 14.	Anderweite meteorologische Instrumente	74
§. 15.	Meteorographen	76
§. 16.	Beobachtungstermine	77

Seite
§. 17. Graphische Methoden in der Meteorologie 78
§. 18. Meteorologischer Kalkul 80
§. 19. Hochstationen und Luftballonfahrten 82
Citate . 85

Kapitel III. **Meteorologische Optik.**
§. 1. Umfang und Inhalt der Disziplin 89
§. 2. Die Gestalt des Himmelsgewölbes und gewisser Gestirne . . 90
§. 3. Die atmosphärische Strahlenbrechung 91
§. 4. Das Funkeln der Sterne 94
§. 5. Das Schwanken der Sterne 95
§. 6. Die Durchsichtigkeit der Luft 96
§. 7. Die allgemeine Tageshelle 98
§. 8. Die Himmelsfarben 98
§. 9. Das Wasserziehen der Sonne 101
§. 10. Die Polarisation des Himmelslichtes 102
§. 11. Spektroskopisch-atmosphärologische Studien 103
§. 12. Die normale Dämmerung 105
§ 13. Analyse des Dämmerungsphänomenes 106
§. 14. Das Alpenglühen 107
§. 15. Anormale Dämmerungserscheinungen 109
§. 16. Die leuchtenden Nachtwolken 114
§. 17. Kimmung und Luftspiegelung 116
§. 18. Der Regenbogen 119
§. 19. Weitere Regenbogenprobleme 122
§. 20. Höfe und Lichtkränze am Himmel 125
§. 21. Irdische Nebelbilder 128
Citate . 131

Kapitel IV. **Atmosphärische Elektrizität; Gewitter.**
§. 1. Statische und dynamische Elektrizität 135
§. 2. Atmosphärisch-elektrische Messapparate 135
§. 3. Art und Periodizität der Luftelektrizität 139
§. 4. Dynamische Elektrizität; Ausgleichsprozesse 142
§. 5. St. Elms-Feuer 142
§. 6. Gewitter, Blitz und Blitzschutz 143
§. 7. Fulguritbildungen 152
§. 8. Irrlichter . 153
§. 9. Theorie der normalen Luftelektrizität 154
§. 10. Theorie der Gewitterelektrizität 157
Citate . 160

Kapitel V. **Kosmische Meteorologie.**
§. 1. Himmelskörper und Erdatmosphäre im allgemeinen 163
§. 2. Planeten, Kometen und Wetter 163
§. 3. Der Mond als meteorologischer Faktor 164
§. 4. Die Einwirkung des Mondes auf einzelne Momente 168
§. 5. Sonnenfleckenfrequenz und Erdatmosphäre 171
Citate . 175

Kapitel VI. **Dynamische Meteorologie.**
§. 1. Die Entwickelung der theoretischen Meteorologie 178
§. 2. Luftdruckverteilung und Temperatur; Isobaren 180

Seite

§. 3. Periodische und unperiodische Luftdruckschwankungen . . . 184
§. 4. Zyklonen und Antizyklonen; das barische Windgesetz . . . 188
§. 5. Land- und Seewinde, Berg- und Thalwinde 195
§. 6. Passate und Monsune 198
§. 7. Weitere Studien über horizontale Luftströmungen 201
§. 8. Fallwinde im allgemeinen 204
§. 9. Winde vom Föhntypus 205
§. 10. Die Winde vom Boratypus 211
§. 11. Die Fortbewegung der barometrischen Maxima und Minima . 212
§. 12. Stürme . 217
§. 13. Wettersäulen und Tromben 220
§. 14. Die mechanischen Bedingungen der Gewitterentstehung und Gewitterfortpflanzung 222
§. 15. Der Hagel . 228
§. 16. Hageltheorien 231
§. 17. Atmosphärische Gesamtzirkulation 235
Citate . 239

Kapitel VII. **Allgemeine Klimatologie.**

§. 1. Klimatologie und Klimatographie 246
§. 2. Solares und physisches Klima 247
§. 3. Die klimatischen Faktoren 248
§. 4. Schnee und Eis in ihrer klimatologischen Bedeutung 254
§. 5. Phänologie der Pflanzen und Tiere 256
§. 6. Solarklima und Solarkonstante 261
§. 7. Die Ausstrahlung der Wärme 266
§. 8. Theoretische Bestimmung der Insolationsbeträge 268
§. 9. Die Grundkategorien des physischen Klimas 271
§. 10. See- und Landklima 272
§. 11. Tiefen- und Höhenklima 278
§. 12. Der Wald in seinen Beziehungen zum Klima 284
Citate . 289

Kapitel VIII. **Klimatographie der Erdoberfläche.**

§. 1. Die klimatographischen Probleme im allgemeinen 294
§. 2. Allgemeine Charakteristik der Hauptklimate 295
§. 3. Subtropische und subpolare Erdgürtel 297
§. 4. Die Temperaturverteilung auf der Erde 300
§. 5. Luftdruck- und Windverhältnisse der Erde 305
§. 6. Feuchtigkeits- und Niederschlagsverhältnisse der Erde 311
§. 7. Klimatische Provinzen 315
Citate . 316

Kapitel IX. **Regelmässige und unregelmässige Veränderungen des Klimas.**

§. 1. Klimaveränderung und Klimaschwankung 318
§. 2. Indirekte Kennzeichen für geschichtliche Klimaveränderungen . 319
§. 3. Direkte Kennzeichen für geschichtliche Klimaveränderungen . . 324
§. 4. Klimaschwankungen von kürzerer Periode 326
§. 5. Die Klimate der geologischen Vorzeit 331
§. 6. Stetig wirkende Ursachen klimatischer Veränderungen 332
§. 7. Periodisch wirkende Ursachen klimatischer Veränderungen . . 334
§. 8. Terrestrische Ursachen der Eiszeiten 338
Citate . 342

Kapitel X. **Praktische Meteorologie.** Seite
§. 1. Wesen und Einteilung der angewandten Meteorologie 345
§. 2. Hilfsmittel der Wetterprognose im allgemeinen 345
§. 3. Die synoptische Prognose 348
§. 4. Konstruktion und Deutung der Wetterkarte 349
§. 5. Agrarprognose . 353
§. 6. Küstenmetorologie und Sturmwarnungswesen 354
§. 7. Wetterprognose auf längere Frist 357
§. 8. Maritime Meteorologie 358
Citate . 360

Kapitel XI. **Hygienische Meteorologie.**
§. 1. Witterung, Klima und menschliche Gesundheit 361
§. 2. Geographische Krankheitslehre 364
§. 3. Die Malaria . 367
§. 4. Höhenklima und Höhenkrankheiten 370
§. 5. Klimatische Kurorte 372
Citate . 373

Sechste Abteilung.

Ozeanographie und ozeanische Physik.

Kapitel I. **Allgemeine Eigenschaften der Meere und deren Verteilung auf der Erdoberfläche.**
§. 1. Meer und Meereskunde 375
§. 2. Die Nomenklatur der Meeresräume 377
§. 3. Verteilung von Wasser und Land auf der Erde 379
§. 4. Die Grössenverhältnisse der Meere im einzelnen 380
§. 5. Das Niveau des Meeres 382
§. 6. Die Färbung des Wassers 384
§. 7. Die Durchsichtigkeit des Wassers 387
§. 8. Pflanzenmeere . 389
§. 9. Plankton und Meeresleuchten 391
Citate . 392

Kapitel II. **Physiographie der Meeresbecken.**
§. 1. Das unterseeische Landschaftsbild 394
§. 2. Bathometrische Methoden 395
§. 3. Uebersicht über die gemessenen Meerestiefen 401
§. 4. Die mittlere Tiefe der Meere 407
§. 5. Submarine Böschungsverhältnisse 408
§. 6. Die Bodenbeschaffenheit des Meeresgrundes 409
§. 7. Meeres- und Küstengliederung 413
Citate . 416

Kapitel III. **Temperatur, Salzgehalt und chemische Zusammensetzung der Meere.**
§. 1. Physik und Chemie des Meerwassers 418
§. 2. Das Dichtemaximum des Meerwassers 419
§. 3. Die Entwickelung der Thermometrie des Meeres 420
§. 4. Die Tiefseethermometer neuester Zeit 420

Seite
§. 5. Allgemeine Sätze über die Wärmeverteilung in den Meeren . . 421
§. 6. Spezielle Temperaturcharakteristik der Ozeane 426
§. 7. Das spezifische Gewicht des Meerwassers 428
§. 8. Der Salzgehalt der Meere 432
§. 9. Weiteres über die Chemie des Meerwassers 435
Citate . 437

Kapitel IV. Die Wellenbewegungen des Meeres; Ebbe und Flut.
§. 1. Undulatorische Bewegung im allgemeinen 439
§. 2. Windwellen . 443
§. 3. Die Dimensionen der Windwellen 446
§. 4. Die Brandungswoge 447
§. 5. Sturmfluten und Seebären 450
§. 6. Künstliche Beruhigung der Wellen 453
§. 7. Stehende Wasserwellen oder Seiches 456
§. 8. Die Gezeiten 461
§. 9. Verstärkung und Abschwächung der Gezeiten 465
§. 10. Zenit- und Nadirflut 467
§. 11. Die Gezeitentheorien in ihrer historischen Entwickelung . . . 468
§. 12. Die modernen Gezeitentheorien 472
§. 13. Anderweite Untersuchungen über Gezeiten 478
§. 14. Gezeitenströmungen 480
§. 15. Das Eindringen der Gezeitenwelle in die Ströme 482
Citate . 486

Kapitel V. Die Strömungsbewegungen im Meere.
§. 1. Vertikale und horizontale Zirkulationen 490
§. 2. Die Vertikalzirkulation der Ozeane 490
§ 3. Die Meeresströmungen und die Hilfsmittel ihrer Erforschung . 493
§. 4. Die Strömungen des Atlantischen Ozeanes 499
§. 5. Die Strömungen der europäischen Nebenmeere 504
§. 6. Die Strömungen des Grossen Ozeanes 506
§. 7. Die Strömungen des Indischen Ozeanes 509
§. 8. Arktische und antarktische Strömungen 511
§. 9. Theorien über die Entstehung der Meeresströmungen 512
§. 10. Erklärung der Strömungen durch Luftadhäsion und Reibung . 519
§. 11. Beeinflussung der Strömungen durch anderweite Momente . . 523
§. 12. Erklärung der Strömungen in Meeresstrassen 526
Citate . 528

Kapitel VI. Das Eis des Meeres.
§. 1. Fluss-, Gletscher- und Meereis 531
§. 2. Die Eisberge der Arktis 533
§. 3. Die Eisberge der Antarktis 537
§. 4. Der Gefrierprozess des Salzwassers 539
§. 5. Die physikalischen Eigenschaften des Eises 540
§. 6. Das Grundeis 542
§. 7. Die Metamorphosen des Polareises 545
§. 8. Eisblink und Wasserhimmel 549
§. 9. Allgemeiner Charakter der arktischen Welt 550
§. 10. Allgemeiner Charakter der antarktischen Welt 553
Citate . 556

Siebente Abteilung.

Dynamische Wechselbeziehungen zwischen Meer und Land.

Kapitel I. Vertikale Verschiebungen der Küstenlinie. Seite

§. 1. Niveauveränderungen im allgemeinen 559
§. 2. Die Kennzeichen kontinentaler Nieveauverschiebung 561
§. 3. Die Kennzeichen mariner Niveauverschiebung 564
§. 4. Oszillatorische Küstenbewegungen; das Serapeum von Pozzuoli . 565
§. 5. Generelle Charakteristik der Niveauveränderungen 566
§. 6. Geographische Verteilung der Strandverschiebungen 569
§. 7. Aeltere Theorien der Strandverschiebung 576
§. 8. Neuere Theorien der Strandverschiebung 579
Citate . 585

Kapitel II. Die Küstenbildung.

§. 1. Küstentypen . 588
§. 2. Die Steilküste unter der Einwirkung der Meeresbewegungen . 594
§. 3. Abrasion der Küsten 601
§. 4. Fjorde und Fjordbildung 604
§. 5. Die Flachküste unter der Einwirkung der Meeresbewegungen . 610
§. 6. Dünenbildung und Dünenwanderung 615
§. 7. Landbildung und Vegetation in Wechselwirkung 620
§. 8. Kombinierte Thätigkeit von Meer und Fluss; Aestuarien und Deltas . 621
§. 9. Kräuselungsmarken 626
§. 10. Morphologie der Seehäfen 627
Citate . 628

Kapitel III. Charakteristik und Klassifikation der Inseln.

§. 1. Morphologische Versuche aus früherer Zeit 632
§. 2. Schwimmende Inseln 633
§. 3. Das biologische Klassifikationsprinzip 635
§. 4. Die genetischen Inselsysteme der Neuzeit 637
§. 5. Allgemeines über Korallenbauten und Korallenerbauer 641
§. 6. Die Terminologie der Korallenbauten 646
§. 7. Aeltere Theorien der Korallenbildungen; Darwins Senkungstheorie 647
§. 8. Die Fortbildung der Korallentheorien in neuerer und neuester Zeit 650
Citate . 656

Achte Abteilung.

Das Festland mit seiner Süsswasserbedeckung.

Kapitel I. Aufbau und Zusammensetzung der Erdrinde.

§. 1. Der Endzweck der Geophysik 659
§. 2. Kosmogonie und Geogonie 660
§. 3. Die Geogonie der Zeit vor Werner 661
§. 4. Werner und Hutton 664
§. 5. Die Geogonie im XIX. Jahrhundert 666
§. 6. Allgemeine Prinzipien der historischen Geologie 669

Seite

§. 7. Die Bildung der Sedimente 672
§. 8. Die Versteinerungen im Dienste der Stratigraphie 675
§. 9. Die geologischen Formationen 678
§. 10. Minero-, phyto- und zoogene Bildungen 684
§. 11. Geologische Karten 689
Citate . 691

Kapitel II. Morphographie und Morphometrie.

§. 1. Kontinentalblock und Meeresbecken 695
§. 2. Die hypso- und bathographische Kurve 696
§. 3. Entwickelung der morphographischen Begriffe 698
§. 4. Ebene; Hügelland; Hohlformen; Gebirge 700
§. 5. Orometrische Grundbegriffe und Methoden 703
§. 6. Die Mittelhöhe von Kontinentalmassen 708
§. 7. Gebirgsformen und geognostische Beschaffenheit in Wechselwirkung . 710
Citate . 712

Kapitel III. Das Süsswasser im festen Zustande; Schnee und Eis.

§. 1. Uebersicht der Erscheinungsformen 714
§. 2. Der Schnee als geographischer Faktor 715
§. 3. Firn, Firnboden, Firnfleckenlandschaft 717
§. 4. Die Schnee- oder Firngrenze 718
§. 5. Lawinen . 722
§. 6. Allgemeines über Natur und geographische Verbreitung der Gletscher . 724
§. 7. Physikalische Eigenschaften des Gletschereises 729
§. 8. Die Auflösung der Gletscher 734
§. 9. Die Moränen 735
§. 10. Allgemeines über Gletscherbewegung 737
§. 11. Theorien der Gletscherbewegung 742
§. 12. Vorstoss und Rückgang der Gletscher 747
§. 13. Gletscherkatastrophen 750
§. 14. Erhaltung des Eises in geschützter Tiefenlage; Eishöhlen . . 754
§. 15. Das Steineis 758
§. 16. Das grönländische Binneneis 759
Citate . 763

Kapitel IV. Hydrologie des Süsswassers.

§. 1. Der Kreislauf des Wassers 768
§. 2. Die Binnenseen in physisch-geographischer Beziehung 769
§. 3. Physik und Chemie der Binnenseen 776
§. 4. Sümpfe und Moore 782
§. 5. Das Grundwasser 787
§. 6. Physik der Quellen 792
§. 7. Chemie der Quellen 797
§. 8. Besondere Formen der Quellen 800
§. 9. Das fliessende Wasser 811
§. 10. Quantitative hydrometrische Bestimmungen 818
§. 11. Gerölle- und Schlammtransport; Grasbarren 824
§. 12. Die Eisverhältnisse der Flüsse 827

Seite
§. 13. Verschwinden und Wiederauffinden von Wasserläufen . . . 828
§. 14. Die Ueberschwemmungen und deren Abwehr 830
Citate . 836

Kapitel V. Allgemeine Morphologie der Landoberfläche.

§. 1. Aufbau und Zerstörung 845
§. 2. Tektonische Formenlehre 846
§. 3. Gebirgszusammenhänge 852
§. 4. Paläogeographie und Permanenz der Kontinente 854
§. 5. Theorien der Gebirgsbildung 856
§. 6. Einzelprobleme des Gebirgsbaus 864
§. 7. Das geologische Experiment 869
§. 8. Die zerstörenden Naturkräfte 873
§. 9. Verwitterung und Verwitterungsprodukte 874
§. 10. Erosion und Denudation des fliessenden Wassers 885
§. 11. Erosion und Denudation durch bewegte Luft 890
§. 12. Erosion und Denudation durch Gletschereis 892
§. 13. Beträge und Konsequenzen des Denudationsprozesses 894
§. 14. Massentransporte 895
§. 15. Höhlen . 900
§. 16. Thalbildung und Verlegung der Wasserscheiden 904
§. 17. Verlegung der Flussläufe 911
§. 18. Morphologie der Flussbetten 913
§. 19. Genese der Seen 918
§. 20. Tierisches Leben als morphologischer Faktor 923
§. 21. Geologische Landschaftsbilder 925
§. 22. Die Steppen- und Wüstenlandschaft 925
§. 23. Die Karstlandschaft 930
§. 24. Die Moränenlandschaft 935
§. 25. Die historische Landschaft 945
Citate . 946

Namenregister . 960
Schlüssel für die Citate 997
Addenda et Corrigenda 1006

Fünfte Abteilung.

Die Lehre von der Atmosphäre.

Kapitel I.

Die allgemeinen Eigenschaften der Atmosphäre.

§. 1. **Begriffsbestimmungen.** Die Abteilung, an deren Spitze der gegenwärtige Paragraph steht, ist der atmosphärischen Physik gewidmet. Gewöhnlich wird als identisch mit diesem Namen derjenige der Meteorologie gebraucht, wobei jedoch zu erwähnen ist, dass das Wort hier in einem eingeschränkteren Sinne zu nehmen ist, als bei Aristoteles (I, S. 4), bei dem es zuerst als Bezeichnung eines umfassenden Wissenszweiges vorkommt [1], und dem, wie Idelers Zusammenstellung ausweist [2], das ganze Altertum im wesentlichen gefolgt ist, wie denn auch noch die neuere Zeit sich erst allmählich von dem alten Gebrauche losmachen musste.

Bei verschiedenen Autoren auch des XVI. Jahrhunderts kann man ein gewisses Schwanken in der Namengebung beobachten. Beachtenswert ist namentlich Theophrastus Paracelsus, über dessen Werke jetzt die treffliche Untersuchung von Sudhoff [3] zu entscheiden gelehrt hat. Sein Buch von den Meteoren [4] ist eine Art Meteorologie. Mit vollem Bewusstsein charakterisiert Meteorologie — oder wohl auch Meteoroskopie — die Lehre von den Veränderungen im Luftkreise erst gegen Ende des XVII. Jahrhunderts; vergl. unten im §. 2 die Angaben über das Werk von Cock.

Die Verschiedenartigkeit der Gegenstände, welche alle in der atmosphärischen Physik ihren Platz zu finden haben, ist eine ungemein grosse. Vor allem wäre es verfehlt, in landläufiger Weise die Meteorologie schlechtweg als Witterungskunde oder Lehre vom Wetter definieren zu wollen, da, wie sich bald zeigen wird, diese mehr praktische Disziplin lediglich eine Unterabteilung der Hauptwissenschaft darstellt. Es sei darum noch eine kurze Uebersicht über die hier zu erörternden Bestandteile der Lehre von der Atmosphäre gegeben.

Wir müssen zunächst uns über die Beschaffenheit, Zusammensetzung und Ausdehnung der Lufthülle orientieren und die Methoden und Hilfsmittel der Forschung kennen lernen. Dann haben wir die optischen und elektrischen Eigenschaften der Atmosphäre zu erforschen und zuzusehen, inwieweit die immer wieder-

kehrende Annahme von der kosmischen Beeinflussung der gasförmigen Umhüllung der Erde berechtigt ist. Nächstdem sind die Bewegungen innerhalb dieser Kugelschale zu studieren und diesem Studium Anhaltspunkte für die Beurteilung später eintretender Zustände zu entnehmen. Hierauf tritt ein selbständiger Zweig der Atmosphärologie in sein Recht, die Klimakunde, welche allgemeine Regeln aufstellt, deren Gültigkeit an verschiedenen Punkten der Erdoberfläche kontrolliert, etwaigen stetigen Veränderungen im Bestande der sogenannten klimatischen Faktoren nachspürt und schliesslich Nutzanwendungen für Leben und Gedeihen des Menschen aus den vorher ermittelten Thatsachen zu ziehen sucht. Dieser Einteilung werden die elf Kapitel der fünften Abteilung entsprechen.

§. 2. **Geschichtliches und Litterarisches über Meteorologie.** Bis tief ins XVIII. und sogar bis ins XIX. Jahrhundert herein wurde die — deshalb noch kaum als Wissenschaft anzuerkennende — Lehre von der Atmosphäre beherrscht durch die mit dogmatischer Bestimmtheit auftretende Doktrin vom Einfluss der Gestirne: Alle Meteorologie war Astrometeorologie. Näheres Eingehen auf die Sache dem Kap. V vorbehaltend, geben wir hier nur ein gedrängtes Bild der historischen Entwickelung, indem wir — neben den zumeist auch die Meteorologie berücksichtigenden Geschichtswerken der Physik — insbesondere auf die geschichtlichen Darstellungen von Siber [5], Kopp [6] und van Bebber [7] verweisen.

Aus antiker Zeit kann man zwar bei vielen Autoren, von Hesiod und Hippokrates (I, S. 3) bis Cicero, Vergilius, Columella und Isidorus, gelegentliche Andeutungen meteorologischer Natur ausfindig machen, aber ernstere Beachtung verdienen nächst Aristoteles (s. o.) doch nur dessen Schüler Theophrast (III. vorchristliches Jahrhundert), sowie die beiden Römer Plinius und Seneca. Die beiden manch überraschend richtigen Gedanken enthaltenden Theophrastischen Fragmente „Von den Winden“ und „Von den Zeichen“ hat uns Woods Uebersetzung [8] näher gebracht. Von mittelalterlichen Gelehrten, die sich auf diesem Gebiete einigermassen über das niedrige Niveau ihres Zeitalters erhoben, nennt Siber (s. o.) besonders Hrabanus Maurus (I, S. 11), Virgilius von Salzburg, den mutigen Vorkämpfer der Sphärizitätslehre (I, S. 139) und den Bischof Agobard von Lyon, der gegen das Ordalwesen auftrat. Auch Albertus Magnus (I, S. 11) und Giraldus Cambrensis (I, S. 14) sind ihrer richtigen klimatologischen Erkenntnisse halber anzuführen, wogegen wir der massenhaft auf uns gekommenen arabischen Schriften über Witterungserscheinungen nur gelegentliche Erwähnung thun wollen. Symons [9] hat uns auf ein höchst werkwürdiges, dem XIV. Jahrhundert entstammendes Beobachtungsregister von einem englischen Geistlichen Merle aufmerksam gemacht, welches als ältestes Wetterjournal anzusehen ist und wirkliche Nachweise über die Witterung, freilich in steter Verbindung mit astrologischen Spekulationen, enthält. Das älteste im Drucke erschienene Wetterbuch, dasjenige von Rynmann oder Reynmann, ist uns durch Hellmanns Ausgabe bekannt geworden [10]. Dasselbe hat im Verlaufe von 34 Jahren 17 Auflagen erlebt (die erste in Augsburg 1505) und stellt sich dar als Sammlung prognostischer Bauernregeln, die teilweise sinnlos, teilweise vernünftig, grösstenteils aber zugleich richtig und nichtssagend sind, wie etwa diese: „Hagelt es in der mitte des sumers umb Viti“, — St. Veitstag, 15. Juni — „so ist ain zaichen grosser kellt in der obern region des luffts.“ Noch mehr derartige Aussprüche findet man in dem ungefähr gleichzeitigen Traktate des Spaniers De Chaves, auf den unlängst Duro aufmerksam gemacht hat [11]. Im ganzen machen diese meteorologischen Inkunabeln keinen schlechten Eindruck, wenn man sie mit dem einige Jahrzehnte später üppig aufwuchernden meteorologischen Aberglauben vergleicht, der sich in der Inszenierung zahlreicher Hexenprozesse zu erkennen gab und die atmosphärischen Vorkommnisse als durch dämonische Einwirkungen bestimmt betrachtete. Bei van Bebber [12] sind zahlreiche Dokumente dieses für die Nachtseite des Menschengeistes charakteristischen Wahnes zusammengestellt.

Von der Ueberzeugung, dass nur durch unablässiges Sammeln von Thatsachen der Grund zu einer voraussetzungslosen und damit der Natur sich besser

anpassenden Meteorologie gelegt werden könne, waren die Meisten noch weit entfernt, doch begegnen uns auch Ausnahmen. Der Nürnberger Astronom J. Werner legte ein wirkliches Beobachtungstagebuch an [13], und ihm folgte mit einem solchen Tycho Brahe nach [14]; auch von Kepler, den uns Brocard [15] als denkenden Meteorologen schildert, liegen sorgfältige Notate über den Gang der Witterung vor [16]. Ohne Instrumente konnten solche Aufzeichnungen natürlich auf höheren Wert noch keinen Anspruch erheben, aber bald kam die Zeit, da auch nach dieser Seite hin eine Ergänzung des roheren, älteren Verfahrens angestrebt und erreicht wurde. Die ersten täglichen, noch konsequenter als bei Brahe gebuchten Wetternotierungen soll Hellmann zufolge ein um 1576 entstandenes Manuskript der Dresdener Bibliothek enthalten, und auch Landgraf Hermann von Hessen-Kassel (pseudonym Uranophilus Cyriandrus) verdient wegen seiner Beobachtungen (von 1623 bis 1646) eine Stelle in der Vorgeschichte der wissenschaftlichen Meteorologie.

Den ersten, bis zum Beginne des XVIII. Säkulums hinaufreichenden und noch schüchtern tastenden Versuchen dieser Art folgten bald exaktere Beobachtungsreihen, und zumal durch das Vorgehen einer gelehrten Gesellschaft kam noch im Laufe jenes Jahrhunderts mehr Leben und Einheitlichkeit in die beobachtende und sammelnde Meteorologie. Den wissenschaftlichen Vereinen, Akademien und Zeitschriften ist ein grosses Verdienst in dieser Hinsicht zuzusprechen. Auch Lehr- und Handbücher des Faches, die daneben nicht zugleich auch noch andere Dinge mit behandelten, sind erst in jener Zeit entstanden.

Die Kirchschen Witterungsaufzeichnungen, welche Hellmann dem Staube einer Bibliothek wieder entrissen hat [17], sind zwar in der Hauptsache auch nur Witterungscharakteristik, aber es sind doch auch schon Temperaturbeobachtungen mit eingestreut, wie denn zumal G. Kirch, als er noch in Guben weilte, sein Thermometer regelmässig abzulesen pflegte, sogar mehrmals am gleichen Tage. Ziemlich um dieselbe Zeit lieferte van Ghelen in einem wiederum von Hellmann [18] aufgefundenen Werke [19] stetige Angaben über Temperatur, Luftdruck und allgemeine Wetterlage. Dieselben leiten hinüber zur ersten sowohl langjährigen als auch höheren Anforderungen genügenden Beobachtungsreihe, derjenigen, welche durch Pater Pilgrams Eifer von 1762 bis 1786 zu stande kam und für die Beurteilung der Wärme-, Niederschlags- und Windverhältnisse in Wien, wie sie damals gelagert waren, eine treffliche Grundlage legte [20]. In der That konnte jener Autor daraufhin bereits ein Buch [21] über die Möglichkeit schreiben, aus umfänglichen Beobachtungsregistern Schlüsse auf den Normalcharakter der Witterung zu ziehen.

Einen Wendepunkt in der Geschichte der Meteorologie stellt jedenfalls die Gründung der „Societas Meteorologica Palatina“ im Jahre 1780 dar, welche Kurfürst Karl Theodor als „dritte Klasse“ seiner Mannheimer Akademie begründete. Traumüllers Monographie [22] lässt uns einen Einblick thun in die Ziele und Leistungen der vom Abte Hemmer geschickt geleiteten Korporation, deren zwölf stattliche Aktenbände, „Ephemeriden“ genannt, einen auch dem modernen Forscher noch wertvollen Stoff in sich schliessen. Das Prinzip, allenthalben mit übereinstimmenden oder doch vergleichbaren Instrumenten beobachten zu lassen, übernahm die kurbayerische Akademie der Wissenschaften von der kurpfälzischen; und da nach C. Lang [23] letztere ihre Thätigkeit mehr konzentrierte und ihr Beobachtungsnetz verdichtete, so vermochte sie höchst Anerkennenswertes für die Klimakunde Süddeutschlands zu stande zu bringen. Aber auch schon die Vorgängerin der Akademie, die unter Amorts Aegide gestiftete bayerische Gelehrtenvereinigung, hatte in ihrem Vereinsorgane, dem „Parnassus Boicus“, Material für solchen Zweck zusammenzubringen gesucht [24], zahlreicher anderer Sammelschriften nicht zu gedenken.

Wie sehr noch gegen Ende des XVI. Jahrhunderts die Meteorologie in überkommenen Anschauungen befangen war, lehrt recht deutlich ein dickleibiges, aber über den aristotelischen Standpunkt in kaum nennenswerter Weise hinausgewachsenes Buch von Meurer [25]. Auch noch hundert Jahre später gab es kein Werk, aus dem man sich meteorologische Kenntnisse besserer Art aneignen konnte, so dass

also das vorhin (S. 1) schon genannte astrometeorologische System Cocks, das in Deutschland noch begieriger als in seinem Vaterlande England aufgenommen und namentlich durch den Chemiker Stahl verbreitet wurde [26], immerhin einen Fortschritt gegenüber dem sklavischen Wiederholen des Aristoteles signalisieren mochte. Cock hat wirklich eine Schule deutscher Meteorologen gebildet; es sei z. B. nur an den „Zittauischen Aspekten-, Witterungs- und Historienkalender“ Trautmanns [27] erinnert.

Gleichwohl war das XVI. Jahrhundert nicht ganz indifferent geblieben, und zumal die junge Wissenschaft der Aërostatik, von welcher die Griechen kaum die ersten Anfänge besessen hatten, lieferte gewisse, der Meteorologie unentbehrliche Grundbegriffe. Auf F. Bacon war das Dreigestirn v. Guericke, Torricelli, Pascal gefolgt, und das Ende des Jahrhunderts sah die Entdeckungen Boyles und Mariottes sich vollziehen. Zugleich erwachte ein reger Eifer, den Beobachtern geeignete Werkzeuge und Apparate zur Verfügung zu stellen. Weitere fruchtbare Forschungen theoretischer Natur reihten sich an.

Von Bacons „Geschichte der Winde“, deren Grundzüge Bormann [28] in Shakespeares „Sturm“ wiedergefunden haben will, war bereits (I, S. 15) die Rede. Durch die berühmten Experimente O. v. Guerickes mit der Luftpumpe [29] war der von Aristoteles nur mangelhaft bewiesene Satz, dass die atmosphärische Luft ein materieller Körper wie jeder andere sei, sozusagen für die Sinne demonstriert und über jeden Zweifel erhoben worden. Den neuen Untersuchungen über den Luft- und Gasdruck wird teilweise unten in §. 8, teilweise erst im nächsten Kapitel Rechnung zu tragen sein.

Durch Hadleys Theorie der Passatwinde (s. u. in Kap. VI), auf welche später H. B. Saussures wichtige Untersuchungen über Luftbewegung folgten ward eine neue Epoche der erklärenden Meteorologie eingeleitet. Die leitenden Merkmale des etwa mit 1800 anhebenden Zeitabschnittes hat v. Bezold sehr gut gekennzeichnet [30]. Die vergleichende Klimatologie wurde durch A. v. Humboldt, L. v. Buch und Wahlenberg begründet, und durch Ausbau der Lehre von den Mittelwerten schuf Dove eine zwar mehr noch auf statistischer als auf physikalischer Grundlage ruhende Meteorologie, welche gleichwohl bis etwa 1860 nahezu uneingeschränkt das Feld behauptete und auch jetzt noch keineswegs ganz veraltet ist, in so vielen Punkten auch die fortschreitende Wissenschaft das Dovesche System als unzulänglich erkennen liess. Nach der anderen Seite hin verhalf Brandes durch seine Schriften [31] einer den mechanischen Gesichtspunkt betonenden Betrachtungsweise den Boden bereiten, den dann nachmals Buys-Ballot und die amerikanischen Geophysiker mit grossartigem Erfolge bearbeiteten, und auf welchem heute ein Wissensgebäude von stolzen Dimensionen errichtet steht.

Seit Cock-Stahl rastete wieder die kompendiarische Thätigkeit der Meteorologen durch längere Zeit, und wenn wir hier diejenigen Werke ausschliessen, welche ganz den Stempel der Astrometeorologie an sich tragen, so begegnet uns erst in den siebziger Jahren des XVIII. Jahrhunderts wieder ein architektonischer Geist. Bei ihm, bei Cotte [32], findet übrigens auch der moderne Leser noch immer viel Wissenswertes. Wir führen im folgenden eine grössere Anzahl meteorologischer Lehr-, Hand- und Hilfsbücher an, welche natürlich weit von Vollständigkeit entfernt bleibt, aber doch einen Ueberblick über die Reichhaltigkeit dieser Litteraturgattung gewähren kann.

Für die Zeit vor Dove ist massgebend das Werk von Kastner [33], während eine etwas spätere Epoche in den noch immer beachtenswerten, detaillierten Darstellungen von Kämtz [34] den adäquaten Ausdruck fand. In England stellte sich denselben das vorwiegend auch für die biologische Geographie wichtige Kompendium von Murphy [35] zur Seite. Ganz im Sinne Doves schrieben Jahn [36] und E. Schmid, wobei jedoch zu bemerken ist, dass Schmids umfassendes Repertorium, als Fundgrube wissenschaftlichen und oft

schwer auffindbaren Stoffes, auch in unseren Tagen, wie verschieden auch der fundamentale Standpunkt sich gestaltet haben möge, nicht wohl entbehrt werden kann. Dem über die gewöhnlichen Grenzen weit hinausgehenden Lehrbuche [37] liess der Autor rasch einen übersichtlicheren Grundriss [38] nachfolgen. Auch die empfehlenswerten kleineren Schriften von Cornelius [39] und Helmes [40] stehen völlig unter dem Einflusse Dovescher Anschauungsweise. Das erste Lehrbuch des neuen Kurses in der Meteorologie schenkte uns der Norweger Mohn, und der Umstand, dass dieses von einem der gewiegtesten Fachmänner herrührende Buch mehrere Auflagen zu verzeichnen hatte [41], spricht eine beredte Sprache in dem Sinne, dass einem wirklichen Bedürfnis genügt worden war. Wie schwer jedoch vielfach die Ueberwindung der Doveschen Anschauungen fiel, wird u. a. dadurch bestätigt, dass Scotts Elementarwerk [42] zwar selbst den modernen Standpunkt wahrt, von seinem Uebersetzer v. Freeden [43] dagegen möglichst durch Anmerkungen dem vergangenen Zeitabschnitte zu akkommodieren versucht ward. Weiter seien genannt die Leitfäden von Bachmann [44], Houzeau-Lancaster [45], Klein [46]; der letztere bringt auf kleinem Raume alle dem Anfänger notwendigen Daten. Zwar kein umfassendes System, wohl aber eine Reihe interessanter und anregender Abhandlungen tritt uns in dem von einem englischen Gelehrtenvereine veranstalteten Vorlesungszyklus [47] vor Augen. Das Lehrbuch von Sprung [48] würde nur chronologisch hier einzureihen sein, aber in Wahrheit ist es ein gelehrtes Originalwerk, welches als erster systematischer Versuch, die meteorologische Dynamik aus wenigen empirischen Vordersätzen heraus mathematisch aufzubauen, in hohem Ansehen steht. Der Zeit nach gelangen wir dann zu dem gleichfalls neue Bahnen beschreitenden Werke des vielgereisten englischen Meteorologen Abercromby [49], welches wohl wert war, durch eine gute deutsche Bearbeitung [50] auch bei uns heimisch zu werden. Millot [51] sieht zu sehr von der Berücksichtigung fremdländischer Arbeiten ab; in dem kleinen, aber höchst klar gearbeiteten Lehrbegriffe De Marchis [52] dagegen, der auch, wie sich zeigen wird, gewisse Teile der Atmosphärologie monographisch behandelte, wird uns eine ausgezeichnete Uebersicht über den aktuellen Stand unserer Wissenschaft vermittelt. Speziell an die Geographen wendet sich das Buch des Verfassers [53], während van Bebbers [54] methodische Darstellung vorzugsweise den Studierenden der naturwissenschaftlichen Fächer entgegenzukommen trachtet. Für das grosse Publikum' hat Umlauft [55], für den Land- und Forstwirt in erster Linie Hornberger [56] geschrieben. Kürzere Fassung gaben ihren meteorologischen Grundlinien Wilk [57], Glass [58] und der katechetisch abgefasste Leitfaden van Bebbers [59], dessen frühere Auflagen Drechsler und Gretschel besorgt hatten. Die neueste Zeit endlich hat uns das an einen etwas vorgebildeten Leserkreis appellierende Werk von Waldo [60], sowie ein solches des gewiegten amerikanischen Didaktikers Davis [61] und ein für die erste Einführung in die Lehre von Wind und Wetter recht geeignetes Werkchen von Marcuse [62] gebracht. Man ersieht aus unserer Zusammenstellung, dass es an Gelegenheiten nicht mangelt, sich mit unserem Fache durch spezielleres Studium bekannt zu machen.

Wie bemerkt, sind in die vorstehende Uebersicht Schriften über speziellere meteorologische Studiengebiete nicht aufgenommen worden; diese finden ihre Stelle naturgemäss in den entsprechenden Kapiteln. Nur betreffs eines etwas abseits liegenden Feldes muss eine Ausnahme gemacht werden. Dies ist die maritime Meteorologie, welche ebenfalls mehrfach in Kompendien abgehandelt wird, die dann aber auch zugleich rein ozeanographische Fragen heranzuziehen pflegen. Als Einführungen in diese Disziplin, welche selbstredend mit der allgemeinen Meteorologie aufs innigste verwandt ist, können die Werke von Viscovich [63], Martin [64], De Sugny [65] und Haus [66], letzteres gewissermassen als Ersatz und Neuausgabe für das ältere, inhaltreiche, aber durch neuere Studien überholte Handbuch von Attlmayr [67] gelten.

Eine zusammenhängende Geschichte der Meteorologie besteht (s. o.) leider noch nicht, doch findet man natürlich in den Werken über Geschichte der Physik u. s. w. vieles einschlägige Material. Murhards achtungswerter Versuch [68] hat leider eine Fortsetzung nicht gefunden, doch ist auch das oben erwähnte Werk von Kopp (S. 2) ein sehr brauchbarer Handweiser für manche Teile. Interessante mythologisch-kulturhistorische Beiträge zur Meteorologie hat Schwartz [69] geliefert. Eine historische Fundgrube allerersten Ranges, wenn auch nur für Deutschland, besitzen wir in Hellmanns Repertorium [70], welches auch die Grundlinien zu einer Geschichte der deutschen Meteorologie in sich schliesst [71]. Den grossartigen Plan einer Zusammenstellung der meteorologischen

Weltlitteratur hat das Wetterbureau der Vereinigten Staaten gefasst, und es sind unter Greelys Leitung auch schon zwei — mit Rücksicht auf die hohen Kosten der Presse durch Schreibmaschine und Steindruck vervielfältigte — Bände erschienen [72], in denen bezüglich alle über Temperatur- uud Feuchtigkeitsverhältnisse verfassten Publikationen verzeichnet stehen.

Des hohen Nutzens, welchen der Assoziationsgedanke gerade auch in unserem Falle gewährt, musste oben (S. 3) schon gedacht werden. Von diesem Gedanken geleitet, haben sich neuerdings in verschiedenen Ländern meteorologische Vereinigungen gebildet, deren fortlaufende Veröffentlichungen die wichtigste Quelle für das tiefere Fachstudium abgeben. Die Anzahl der im engeren Sinne meteorologischen Zeitschriften ist erheblich gewachsen.

Der „Zeitschrift der österreichischen Gesellschaft für Meteorologie“ ist, nachdem die vorteilhafte Fusion dieser Korporation mit der Deutschen Meteorologischen Gesellschaft für den litterarischen Zweck stattgefunden hatte, die anfänglich von Köppen, sodann von Hellmann und Hann gemeinsam redigierte „Meteorologische Zeitschrift“ gefolgt. In deutscher Sprache wird auch von Wild ein für die tiefere Forschung bedeutsames „Repertorium für Meteorologie“ herausgegeben, während Assmanns Organ „Das Wetter“ zugleich der Popularisierung der Wissenschaft Rechnung tragen will. Sowohl hier, wie auch ganz besonders in der hierin mustergültigen „Meteorologischen Zeitschrift“ werden auch fortlaufende Referate über die neuesten litterarischen Erscheinungen erstattet; daneben sind auch die referierenden Uebersichten von grossem Werte, welche Wagners „Geographisches Jahrbuch“, Petermann-Supans „Geographische Mitteilungen“ und Kleins „Jahrbuch der Astronomie und Geophysik“ darbieten.

§. 3. **Die Gestalt der Atmosphäre.** Die Atmosphäre ist ein ebenso integrierender Bestandteil des Erdkörpers, wie die Hydro- und Lithosphäre; sie nimmt gleichmässig an der täglichen und jährlichen Erdbewegung teil, und es würde dies selbst dann noch der Fall sein, wenn der Weltraum, wie man behaupten wollte [73] (S. 101), völlig aus den gleichen Materien — nur im Zustande alleräusserster Verdünnung — zusammengesetzt wäre, wie die gewöhnliche atmosphärische Luft. Es liegt somit auch die Berechtigung vor, nach einer Grenzfläche der Atmosphäre zu fragen; praktische Bedeutung besitzt eine wie immer geartete Antwort auf diese Frage nicht, weil auch diesseits dieser Grenzfläche die Luft grossenteils schon von minimaler Dichte sein wird.

Wollte man von der besonderen Natur der gasförmigen Körper absehen, so könnte man mit Laplace [74] eine einfache Lösung dadurch erhalten, dass man diejenige Fläche aufsuchte, für deren sämtliche Punkte Anziehungs- und Schwungkraft genau — nur entgegengesetzt — gleich sind. Der nächste Paragraph wird uns zu diesem Probleme zurückführen. Korrekter geht man dagegen mit F. Neumann [75] zu Werke, indem man die Niveauflächen der Atmosphäre auf ihre Gestalt prüft. Wir haben die Gleichungen dieser Flächen bereits für die feste Erde und deren nächste Umgebung abgeleitet (I, S. 214 ff.), allein damals brauchte bloss auf Gravitation und Schwungkraft, nicht aber auch gleichzeitig darauf Rücksicht genommen werden, dass in einer elastischen Flüssigkeit, als welche wir die Atmosphäre kennen, besondere Druckkräfte in Betracht kommen. Neumanns Untersuchung trägt auch diesen Rechnung. Wenn in einem durch die Koordinaten x und y gekennzeichneten Punkte der Meridianlinie einer Niveaufläche der Druck p herrscht, während Δ die Dichte der Luft am Meeresniveau unter der Breite φ, R den Erdhalbmesser, T die Tagesdauer, P den Normaldruck in der Höhe o, g die Fallbeschleunigung, $r = \sqrt{x^2 + y^2}$ den Radiusvektor des zuerst betrachteten Punktes bedeutet, so gilt folgende Differentialgleichung:

$$\frac{dp}{p} = \frac{\Delta}{P}\left[g R^2 d\left(\frac{1}{r}\right) + \frac{4\pi^2}{T^2}(x\,dx + y\,dy)\right].$$

Hier ist $x = r \cos \varphi$, $y = r \sin \varphi$. Diese Gleichung wird von Neumann der Diskussion unterzogen.

Die Gleichgewichtsflächen sind Rotationsflächen von ellipsoidischem Charakter (I, S. 217). Dieselben konvergieren aber gestaltlich, wenn man von innen nach aussen fortschreitet, gegen eine Grenzform, welche zugleich als die gesuchte Grenzfläche der Atmosphäre zu gelten hat. Wie diese aussieht, haben wir erst von Helmert [76] in neuerer Zeit erfahren.

Während eine Niveaufläche, schon ihrer Definition gemäss, als überall stetig gekrümmt zu denken ist, hört diese stetige Krümmung für die äusserste dieser Flächen, jenseits deren also die Erde ihr Machtbereich einbüsst, zu existieren auf. Die Grenzfläche ist durch eine in der — erweiterten — Ebene des Erdäquators verlaufende Kante ausgezeichnet.

§. 4. **Die Ausdehnung der Atmosphäre.** Eine an die vorige naturgemäss anzuknüpfende Frage tritt uns jetzt entgegen: Welches ist die Ausdehnung oder, wie man gewöhnlich sich ausdrückt, die Höhe der Atmosphäre, die lotrechte Entfernung des äussersten noch ihr angehörigen Punktes von der Erdoberfläche? Ersichtlich ist, da eben die Grenzfläche keine sphärische Krümmung besitzt, diese Höhe keine konstante, sondern sie nimmt im allgemeinen zu mit der Annäherung an den Aequator und erreicht in diesem ihren grössten Wert. Nach der Methode von Laplace (s. o.) und Melanderhjelm kann man diesen finden; ersterer fand 5682, letzterer 4833 geogr. Meilen [77]. Diese Werte, rund 42000 und 35700 Kilometer, sind natürlich für die Meteorologie als solche belanglos, denn in solchen Entfernungen von der Erde ist die Dichte der Luft längst unter die Grenze der Messbarkeit herabgesunken.

Den Ausdruck für die Schwungkraft unter der Polhöhe φ haben wir schon früher (I, S. 182) zu verwerten gehabt; unter r den Abstand des fraglichen Punktes vom Erdmittelpunkte, unter R wieder den Erdhalbmesser, unter ω die Winkelgeschwindigkeit der Erde verstanden, ist jener Ausdruck gleich $m\omega^2 r \cos^2 \varphi$, wenn m die Masse des materiellen Punktes vorstellt. Wenn dann ρ den Abstand des Aequators der Grenzfläche vom Erdzentrum, $M = \frac{4}{3} R^3 \pi \Delta$ (Δ die mittlere Erddichte), k (I, S. 163) die Gravitationskonstante bedeutet, so gelten, weil jetzt $\cos \varphi = 1$ geworden ist, nachstehende Gleichungen:

$$m\omega^2 \rho = \frac{M m k}{\rho^2}; \quad \rho = R \sqrt[3]{\frac{4 k \Delta \pi}{3\omega^2}}.$$

Wesentlich nach diesem Verfahren wurden die angegebenen Grenzwerte ermittelt.

Durch rein theoretische Betrachtungen anderer Art suchten G. G. Schmidt [78], und A. Ritter [79] die Höhe der Atmosphäre zu bestimmen. Ersterer setzte deren Grenze da an, wo — nicht die Zentrifugalkraft, sondern — die spezifische Elastizität der Luft sich mit der Schwere im Gleichgewichte halte. Ritter andererseits ging von denselben Grundgesetzen der mechanischen Wärmetheorie aus, welche schon für seine Untersuchungen über die Bildung der Weltkörper die leitenden gewesen waren (I, S. 51, 354).

Schmidt fand für die Dimension unserer Lufthülle unter dem Aequator 203,5 km, unter einem Pole rund 200 km. Ritter betrachtete zunächst eine reine Wasserdampfatmosphäre und erhielt für deren Dicke einen Wert von 349 km [80]. Von diesem werde, so glaubt er sich überzeugt halten zu dürfen, auch die Ausdehnung der die Erde umgebenden, ein Gemenge aus Gasen und Dämpfen darstellenden Hülle nicht viel abweichen.

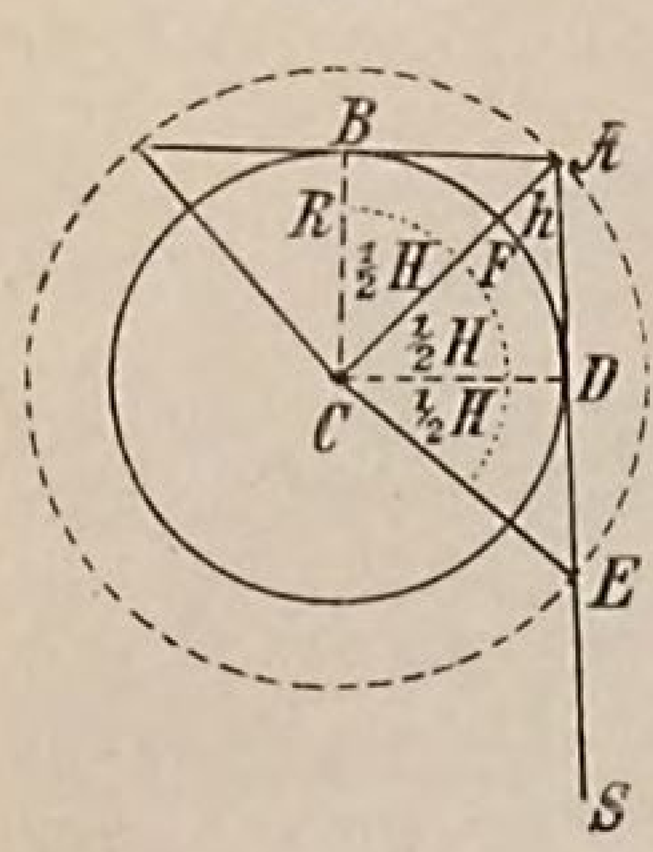
Auch vermittelst der theoretischen Optik hat man eine Lösung unserer Aufgabe zu erbringen gesucht. Des weiteren griff man auf die trigonometrische Höhenbestimmung der Feuermeteore (I, S. 89) zurück. Wohl die grösste Sicherheit jedoch dürfte die Höhenmessung der Wolken gewährleisten, freilich nicht für jene ideelle Aussengrenze der Atmosphäre, aber um so mehr für solche Abstände von der Erdoberfläche, denen noch eine messbare Dichte der Luft zuzuschreiben ist. Wir werden uns aber auch da vorläufig nur an Grenzfälle halten und tieferes Eingehen auf die Sache dem den Wolken gewidmeten §. 8 vorbehalten.

Newton nahm in seine Ausgabe der Geographie des Varenius (S. 15) folgende Problemstellung auf [81]: „Observatis duabus refractionibus ad duas altitudines invenire inde et aëris altitudinem et aëris crassitiem respectu aetheris“ — also die Dicke der Luft bis zu der sie vom Aether scheidenden Grenze. Eine ganz moderne Einkleidung gab der alten Aufgabe Kerber [82]. Die Atmosphäre lässt sich auffassen als ein optisches System konzentrisch gelagerter, brechender Medien, dessen sogenannte Hauptpunkte mit dem Mittelpunkte der Erde zusammenfallen. Auf diese Weise ergab die Rechnung 190 km Ausdehnung.

Wenn wir von der nächstliegenden Annahme über die leuchtenden Meteorite ausgehen, dass dies nämlich dunkle Weltkörperchen sind, welche erst durch den von der Erdluft ihrer raschen Bewegung entgegengesetzten Widerstand brennend und damit leuchtend werden, so vergewissert uns eine geometrische Ermittelung des Abstandes jenes Punktes, in welchem das Aufleuchten des Meteors sich vollzog, darüber, dass die Zusammensetzung der Atmosphäre in fraglichem Abstande doch noch eine ziemlich kompakte sein muss. Von Schiaparelli und Liais liegen solche Distanzmessungen vor, die zwischen 200 und 400 km schwanken; gegen Liais, der die atmosphärische Polarisation zum Ausgangspunkte nahm, hat W. König, der sich auf die in Kap. III näher zu erörternde Arbeit von Soret beruft, allerdings Einwände, die nicht zu vernachlässigen sind, geltend gemacht [83]. Wenn wir uns der früher (I, S. 597) erwähnten Polarlichtbestimmungen Flögels [84] u. a. entsinnen, so müssen wir zugeben, dass diese Höhen durchaus nichts Unwahrscheinliches an sich haben, und noch klarer wird uns dies werden, wenn wir erfahren, dass selbst Wolken, zu deren Bildung es doch nur in dichter gefügter Luft kommen kann, eine Höhe von mehr denn 100 km erreichen können.

Die Bestimmung der Wolkenhöhe ist für den hier in Rede stehenden Gegenstand in zwei Beziehungen von massgebender Bedeutung. Die Methode des Alhazen liefert einen unteren Wert für die Grenze der Atmosphäre, und die Erweiterung dieser Methode für gewisse Wolkenformen ergibt einen oberen Wert für jene atmosphärischen Räume, innerhalb deren es noch zu Kondensationsvorgängen kommen kann.

Fig. 1.



Das Verfahren des Marokkaners Alhazen oder Ibn Haitham [85] (I, S. 9) ist auch in das grosse Werk des Vitellion — oder korrekter Witelo [86] — übergegangen [87]: „Summorum vaporum consistentiam ad quantum possunt elevari, pertingere possibile est.“ In Fig. 1 soll der innere der beiden um C konzentrisch beschriebenen Kreise der festen Erde entsprechen, deren Radius R ist. Im Punkte B ist die Horizontalebene gelegt, und dieser gehört das Wölkchen A an, welches von B

aus gerade noch beleuchtet gesehen wird, nachdem die Sonne bereits untergegangen ist. Wenn einen Augenblick später die Beleuchtung aufgehört hat, so bedeutet dies, dass die Sonne S unmittelbar vorher irgendwo in der Verlängerung der zweiten von A aus an die Erdkugel gelegten Berührenden sich befunden haben muss. Diese Berührende schneidet den Hauptkreis, welchem A angehört, in E, so dass also, wenn noch C D senkrecht auf A E steht und $\sphericalangle ACE = H$ gesetzt wird,

$$\triangle ACB \cong \triangle ACD \cong \triangle ECD, \quad \sphericalangle ACB = \sphericalangle ACD = \sphericalangle ECD = \frac{1}{2} H$$

wäre. Der Radius A C schneidet die feste Erde in F; dann ist $AF = h$ die absolute Höhe des Wölkchens A, und man hat für h diese Gleichungen:

$$\frac{R}{R+h} = \cos \frac{1}{2} H; \; h = \frac{R\left(1 - \cos \frac{1}{2} H\right)}{\cos \frac{1}{2} H} = 2 R \sec \frac{1}{2} H \sin^2 \frac{1}{4} H.$$

H ist die (negative) Sonnenhöhe im Momente der letzten Bestrahlung, und wenn folglich vom Untergange der Sonne bis zu jenem Zeitpunkte t Stunden (resp. Minuten und Sekunden) verflossen sind, so stehen für H und den Stundenwinkel σ, falls noch die Deklination — der Aeqatorabstand — δ der Sonne als bekannt angenommen werden kann, zwei neue Relationen zur Verfügung (φ geographische Breite):

$$\sigma = 15\,t; \; \sin H = \sin \delta \sin \varphi + \cos \delta \cos \varphi \cos \sigma.$$

Alhazen selbst fand auf diese Art h = 52 000 Schritte, ein Resultat, welches wir, da uns die Masseinheit zu wenig bekannt ist (I, S. 148) nicht kontrollieren können; selbständige Bestimmungen in Gemässheit desselben Verfahrens versuchten Kepler, De la Hire und Mariotte [88]. Einen relativen Wert vindiziert demselben auch E. Schmidt [89], weil es diejenige Höhe zu bestimmen gestatte, in welcher eine raschere Abnahme der Dichte der Atmosphäre stattfinde.

Jene Wolken, welche gewöhnliches Sonnenlicht zu reflektieren vermögen, sind nicht allzuweit vom Erdboden entfernt. Anders steht es mit den irisierenden oder Perlmutterwolken — dies die englische Bezeichnung — auf deren Beobachtung erst seit den achtziger Jahren die Aufmerksamkeit der Meteorologen sich gerichtet hat. Was diese Wölkchen eigentlich sind, wie ihr weiss schimmernder Glanz zu erklären wäre, das soll zunächst ununtersucht bleiben; Kap. III wird darüber die überhaupt mögliche Auskunft zu erteilen suchen. Vorläufig interessiert uns hier nur die eine Thatsache, dass diese Wölkchen in sehr grosser Höhe schweben. Die Methode Alhazens sinngemäss erweiternd, fand Mohn [90], dass die irisierenden Wolken, falls diese wirklich ihren Glanz von der Sonne beziehen und in dem Augenblick des Eintretens in den Erdschatten verschwinden, Höhen zwischen 100 und 140 km einnehmen. Jesse, ein überaus gründlicher Beobachter, fand freilich beträchtlich niedrigere Werte [91], aber es ist höchst wahrscheinlich, dass die atmosphärische Schicht, an welche diese Glanzwölkchen gebunden sind, zwischen weit auseinanderliegenden Horizontalflächen enthalten ist, so dass beide Gelehrte in ihrem Rechte sind.

Wir fassen zusammen. Bis zu einer Höhe von vielleicht 150 km findet noch Wolkenbildung statt, und selbst in 400 km Höhe entbehrt die Atmosphäre nicht eines etwas dichteren Gefüges. Darüber hinaus ist auch noch auf weite Strecken ein mit unserer Erdluft der Zusammensetzung nach übereinstimmendes Gasgemenge im Zustande feinster Verdünnung vorhanden bis hin zu der Grenze, an welcher die Schwungkraft über die Schwere die Oberhand gewinnt.

Würde man ein genaues Gesetz kennen, nach welchem die Abnahme der Dichte stattfindet (s. u. in §. 5), so liesse sich auch — neben dem an sich bekannten Volumen — die Masse der zwischen der Erdoberfläche und einer beliebigen Niveaufläche enthaltenen Luftschale berechnen. Mascart hat die Gesamtmasse der Erdluft zu bestimmen gesucht [92], doch gehen in jede der-

artige Rechnung zu viele hypothetische Voraussetzungen ein, als dass die Auswertung der Formeln mit einiger Genauigkeit erfolgen könnte.

§. 5. **Aërostatische Grundgesetze.** Von gewissen Lehrsätzen, welche die Statik luftförmiger Körper nach und nach aufgefunden hat, muss auch die Meteorologie häufig Gebrauch machen. Wir werden also nicht umhin können, einige der wichtigeren dieser Wahrheiten in diesem Paragraphen zu vereinigen.

In gewissem Sinne kann Platon als Begründer der Aërostatik bezeichnet werden, dessen einschlägige Aussprüche — im „Timäus" — in Rothauf [93] einen scharfsinnigen Interpreten gefunden haben. Der Philosoph unterscheidet leicht- und schwerflüssige Fluida und teilt die Luft der ersteren Gattung zu. Sie könne sich in Nebel und Wolken verwandeln, und man müsse annehmen, dass die Elementarpolyeder, aus denen jeder Grundstoff zusammengesetzt gedacht wurde, bei solchem Verwandlungsakte auseinanderfallen und sich neu gruppieren — ein merkwüdiger Anklang an die moderne Stereochemie (I, S. 361). Aristoteles' Versuch [94], das Gewicht eines Luftquantums zu ermitteln, und die maschinellen Vorrichtungen Herons [95] lassen uns wenigstens klar erkennen, dass man über die Körperlichkeit der Luft keinen Zweifel mehr hegte. Die Entdeckung des Luftdruckes ist so enge mit der Erfindung des Barometers verknüpft, dass wir sie am besten in das nächste Kapitel aufnehmen. Endlich sei noch auf Hochheims Beleuchtung [96] der grossen Neuerung O. v. Guerickes (S. 4) hingewiesen; die Elastizität der Luft war seitdem eine bewiesene Thatsache, und der wichtige Schluss lag nahe [97], dass die unteren Schichten der Atmosphäre dichter als die oberen sein müssten; auch die Bedeutung der Wasserdämpfe für Nebel- und Wolkenbildung hat v. Guericke erkannt [98].

Als Boyle an der Verbesserung des Luftschweremessers arbeitete [99], bildete er sich Tabellen, in denen Pression und Volumen der Luft nebeneinandergestellt waren, aber er überliess es seinem Schüler Townley [100], diesen Tabellen ein Naturgesetz zu entnehmen. Erst etwas später machte Mariotte den gleichen Fund [101], um ihn jedoch gleich kräftiger auszubeuten. Mehr denn hundert Jahre später brachte dann Gay-Lussac [102] jene Verbesserung an dem bis dahin für ausreichend erachteten Ausdruck des Gesetzes an, welche auch jetzt noch, falls nicht gewisse Grenzen überschritten werden, dieses als mit der Wirklichkeit sehr gut übereinstimmend erscheinen lässt.

Das Mariottesche Gesetz lautet in seiner ersten Fassung: Zwei Volumina derselben Gasart verhalten sich zu einander umgekehrt wie die auf dem Gase lastenden Drucke. Unter v das Volumen, unter p den Druck, unter c_1 eine Konstante verstanden, muss also $pv = c_1$ sein. Je kleiner das Volumen, um so grösser wird unter sonst gleichen Umständen die Dichte d; es ist also $d = c_2 p$, wo c_2 wieder eine Konstante darstellt. Wenn das Gleiche für c_3 gilt, während α den Ausdehnungskoeffizienten der Gase bedeutet, so besteht für das Mariotte-Gay-Lussacsche Gesetz folgende Gleichung:

$$d = \frac{c_3 p}{1 + \alpha t}.$$

t stellt die nach Zentigraden gemessene Temperatur vor.

Während noch Priestley jeder Gasart ihren besonderen Ausdehnungskoeffizienten zugeschrieben hatte [103], erkannte Charles die Gleichheit dieser Grösse für die wichtigsten Gase [104], und Dalton bestätigte dies, freilich noch wähnend, die Gleichmässigkeit der Ausdehnung sei eine sehr unvollständige [105]. Nach Gay-Lussac ist α im allgemeinen konstant, und zwar $= \frac{1}{273} = 0{,}0037$ (vgl. I, S. 102). Seit Despretz [106] wurden jedoch immer lautere Zweifel rege, ob diese

Konstanz eine durchgängige sei, und heute wissen wir, dass dann, wenn ein Gas sich der Verflüssigung nähert, die Gleichförmigkeit zu bestehen aufhört. Nach den Versuchen von Arago, Swensen, Regnault und Natterer kann man behaupten [107]: Das Gesetz von Mariotte und Gay-Lussac gilt unbedingt für Wasserstoff, Sauerstoff, Stickstoff, Luft und Kohlensäure noch bei resp. 78, 77, 85, 96 und 12 Atmosphären. Während die kinetische Gastheorie das Gesetz direkt abzuleiten gestattet, bedarf es nach Reis [108] noch gewisser molekulartheoretischer Zusätze, um auch den Grenzfällen gerecht zu werden.

Um eine noch exaktere und völlig einwandfreie Formulierung der zwischen Druck, Volumen und Temperatur vermittelnden Relation haben sich auch Biehringer [109] und Kuhn [110] bemüht. Es ist zu bedauern, dass über die Anwendbarkeit dieser jedenfalls sehr bemerkenswerten Formeln nicht schon eingehendere Untersuchungen, zumal solche experimenteller Natur, angestellt worden sind. Kuhn geht davon aus, dass der Ausdehnungskoeffizient α_p von dem Spannungskoeffizienten α_v verschieden anzunehmen sei, und kommt so, wenn für p, v, t die obigen Bezeichnungen weiter gelten, zu der Differentialgleichung [111]:

$$dt = \frac{dp}{\alpha_p\, p} + \frac{dv}{\alpha_v\, v} = \frac{1}{\alpha_p\, \alpha_v}\left(\alpha_v \frac{dp}{p} + \alpha_p \frac{dv}{v}\right).$$

Die Integration ergibt, wenn die Konstante $C = p_0^{\alpha_v} \,.\, v_0^{\alpha_p}$ gesetzt wird,

$$\alpha_p\, \alpha_v\, t = \log p^{\alpha_v} + \log v^{\alpha_p} - \log C,$$

$$p^{\alpha_v}\, v^{\alpha_p} = p_0^{\alpha_v}\, v_0^{\alpha_p}\, e^{\alpha_v \alpha_p t}.$$

Dies kann als der allgemeinste, die Beziehungen zwischen Druck, Volumen und Temperatur regelnde Ausdruck betrachtet werden, falls nur Gase und Dämpfe hinreichend weit von der Kondensation entfernt sind. Für $t = o$, $\alpha_v = \alpha_p$ erhalten wir wieder die primitivere Gleichung $pv =$ Konst.

Aus den Prinzipien der mechanischen Wärmetheorie leitete Schlemüller [112] eine sehr merkwürdige Relation ab: In zwei verschieden weit von der Erdoberfläche abstehenden Punkten ist der jeweils dort herrschende Druck der sechsten Potenz der absoluten Temperatur proportional. Schon vor ihm hatte v. Bauernfeind [113] diese Thatsache, und zwar in noch allgemeinerer Fassung, festgestellt.

Derselbe fand nämlich, unter d und d', T und T' resp. die Dichten und absoluten Temperaturen in den Höhen h und h' verstanden, während k und k' gewisse Erfahrungskoeffizienten bedeuten, folgende Proportionenkette:

$$\frac{T'}{T} = \left(\frac{d'}{d}\right)^{k-1} = \left(\frac{p'}{p}\right)^{\frac{k-k'}{k}} = \left(\frac{h'}{h}\right)^{k'}.$$

Empirisch fand sich $k = \frac{6}{5}$, $k' = 1$, und es ist also wirklich

$$\frac{p'}{p} = \left(\frac{T'}{T}\right)^6.$$

§. 6. **Die Luft und die Wärme.** Unzählige Wärmequellen sorgen dafür, dass an verschiedenen Stellen unserer Lufthülle auch verschiedene, von Augenblick zu Augenblick sich ändernde Temperaturen herrschen. Von allen diesen Ursachen ist jedoch nur eine von grosser und allgemeiner Bedeutung, nämlich die Sonnenwärme. Ueber die Art und Weise, wie sich diese der Atmosphäre mitteilt, haben wir jetzt ins Klare zu kommen.

Wir erinnern an die uns schon (I, S. 333) bekannte Unterscheidung zwischen Wärmestrahlung, Wärmeleitung und Wärmekonvektion. Ebenso

wie es gegen Licht undurchlässige, durchscheinende und durchsichtige Körper gibt, so gibt es auch athermane, durchwärmige und diathermane Körper gegenüber der Wärmestrahlung [114]. Ein mit der Eigenschaft der Diathermansie (διά, durch; θέρμη, Wärme) in voller Strenge behafteter Körper würde sonach die Wärmestrahlen passieren lassen, ohne von ihnen erwärmt zu werden. Die atmosphärische Luft ist nun zwar nicht, wie man früher glaubte, ein diathermaner Körper, wohl aber wird nur ein Bruchteil der Wärmeenergie — etwa 0,4 —, mit welcher die Sonnenstrahlen an der Aussenseite der Atmosphäre anlangen, direkt zur Erhöhung der Lufttemperatur verwendet [115]. Auf die feineren Untersuchungen über die Wärmeabsorption in der Luft kann erst in dem Abschnitte über theoretische Klimatologie (Kap. VIII) eingegangen werden. Ein überwiegender Teil der Strahlungsenergie dient dazu, die Aussenschichten der flüssigen und festen Erde in rasche Schwingungen ihrer kleinsten Teile zu versetzen, d. h. zu erwärmen, und diese Wärme teilt sich alsdann durch Leitung zuerst den unteren und weiterhin auch den oberen Luftregionen mit. Der Einstrahlung bei Tage entspricht Ausstrahlung während der Nacht, dafür kann man auch sagen: Der Einsaugung heller Wärmestrahlen, die von der Sonne kommen, entspricht bei Abwesenheit der Sonne die Ausgabe dunkler Wärmestrahlen. Im ganzen und grossen ist der Vorgang ähnlich wie bei einem Treibhause, dessen Fenster zwar den Sonnenstrahlen fast ganz freien Durchpass gewähren, die von innen kommenden Wärmestrahlen dagegen zurückhalten [116]. An der Erde selbst wird es deshalb bei Nachtzeit immer besonders kalt sein, kälter als in einiger Entfernung vom Boden.

Nicht alle Stoffe verhalten sich gleich bei Ein- und Ausstrahlung. Ein Körper von grosser Wärmekapazität — Wasser — erwärmt sich langsam, gibt aber die einmal aufgenommene Wärme auch nur langsam wieder von sich; ein Körper von geringer Wärmekapazität — Gestein — nimmt die Wärme ebenso leicht auf, wie er sich ihrer wieder durch Ausstrahlung entledigt. Die Wärmekapazität kann als der spezifischen Wärme proportional angenommen werden; haben wir von zwei Substanzen A und B die gleichen Quanta und bedürfen wir n mal mehr Wärmeeinheiten oder Kalorien, um jene Quantität B — unter sonst gleichen Umständen — von 0^0 auf 1^0 zu erwärmen, als die Quantität A, so sagen wir, die spezifische Wärme von B sei das n fache der spezifischen Wärme von A. Damit ist auch eine Absolutbestimmung der spezifischen Wärme eines Stoffes, also einer unbenannten Zahl, möglich geworden.

Von allen bekannten Körpern eignet dem Wasserstoff die grösste spezifische Wärme. Gross ist auch diejenige des Wassers. Nach Bohn [117] und Velten [118), der sich speziell mit dem Wasser eingehend befasst hat, geben wir nachstehend einige wichtigere Zahlen:

Substanz	Spez. Wärme	Substanz	Spez. Wärme
Wasser	1,0000	Holz	0,500—0,654
Lithium	0,9408	Quecksilber	0,0333
Alkohol	0,5987	Petroleum	0,4321

Wenn somit 1 Wärmeeinheit dazu gehörte, um die Temperatur der Gewichtseinheit destillierten Wassers von 0^0 auf 1^0 zu erhöhen, so bedurfte es bei Quecksilber nur 0,03 solcher Einheiten. Natürlich ist es nicht ganz gleichgültig, von welcher Anfangstemperatur t aus die spezifische Wärme c_t gerechnet werden soll; unter a und b zwei — numerisch sehr kleine — durch das Experiment zu ermittelnde Werte verstanden, lässt sich $c_t = c_0 + at + bt^2$ leicht berechnen.

Nachdem wir so konstatierten, dass die Sonnenwärme als der Regulator der Lufttemperatur angesehen werden müsse, wissen wir zugleich auch, dass die tägliche Kurve der Lufttemperatur, der scheinbaren täglichen Bewegung des Wärme spendenden Gestirnes entsprechend, je ein Maximum und Minimum aufweisen muss. Die Zeiten jedoch, zu welchen die Ordinate diesen ihren grössten oder kleinsten Wert erreicht, hängen von der Lage des Beobachtungsplatzes ab.

Man wird nicht erwarten dürfen, dass dann, wenn die Sonne ihren höchsten Stand erreicht hat, sich sofort ihre Wirkung am kräftigsten offenbare, sondern erst dann wird die Kurve ihren Gipfelpunkt erreichen, wenn die Wärmekraft dem durch Ausstrahlung entstehenden, niemals ganz fehlenden Wärmeverluste gerade das Gleichgewicht hält. Selbstverständlich ist auch die Tagesamplitude, d. h. die Differenz zwischen den je im Laufe von 24 Stunden abgelesenen höchsten und niedrigsten Temperaturen, eine nach Ort und Jahreszeit stark wechselnde. Näheres darüber gehört in die Klimatologie und wird in den Kapiteln VIII und IX mitgeteilt werden, wo dann auch der jährlichen Periode der Lufttemparatur, welche, wie die tägliche, durch astronomische Verhältnisse bedingt ist [119], gebührend Rechnung zu tragen sein wird.

Ueber die Wärmeleitungskonstante der atmosphärischen Luft hat uns die neueste Zeit gründliche Untersuchungen von Kundt-Warburg, Winkelmann, Grätz, Kutta und E. Müller gebracht [120]. Den Mittelwert 0,00005 vermochte der letztgenannte schärfer zu präzisieren, weil gewisse Vorfragen bereits gelöst und zumal für die Ausdehnungskoeffizienten der benützten Glasarten die genauen Werte ermittelt worden waren. So erhielt Müller [121] die Zahl 0,000056. Denken wir uns in der Luft ein Prisma vom Querschnitte f abgegrenzt, dessen beide Deckflächen jeweils auf der Temperatur t_1 und t_2 erhalten werden, und bezeichnet h die Höhe dieses Prismas, so ist die durch Leitung während der Zeiteinheit von der wärmeren zur weniger warmen Deckfläche übergehende Wärme gegeben durch den Ausdruck:

$$0{,}000056\, f\,(t_1 - t_2) : h.$$

§. 7. **Die Zusammensetzung der Atmosphäre.** Dem Altertum und Mittelalter galt die Luft als Element, als ein der Zerlegung in irgendwelche Urbestandteile nicht mehr fähiger Körper. Die Möglichkeit, dass man es nicht mit einem ganz unteilbaren Urstoffe zu thun habe, ist nach Muncke [122] zuerst von Boyle (S. 4) angedeutet worden. Seit dem Zeitalter der grossen chemischen Entdeckungen in der zweiten Hälfte des XVIII. Jahrhunderts weiss man mit Bestimmtheit: Die atmosphärische Luft ist zwar keine chemische Verbindung aber doch ein inniges mechanisches Gemenge gewisser chemischer Elemente, zu denen noch einige weitere Ingredientien hinzukommen.

Der Unterschied zwischen Verbindung und Gemenge ist leicht am Beispiele zu erläutern. Wasser ist eine chemische Verbindung von Wasser- und Sauerstoff; die beiden Elementarstoffe haben sich so innig durchdrungen, dass jeder von ihnen seine Eigenart ganz und gar eingebüsst hat, und dass es der Kraft des elektrischen Funkens bedarf, um das neue Gebilde wieder aufzulösen. Bei einem Gemenge ist von solchem Verluste der Individualität der einzelnen Bestandteile keine Rede, doch kann die Trennung auch nur mit den Hilfsmitteln der chemischen Analyse bewerkstelligt werden. Jene Abteilung dieser Kunst, welcher die genannte Aufgabe zur Lösung überwiesen war, wurde gewöhnlich als Eudiometrie (εὔδιος, heiter, ein griechischer Beiname der Luft; μετρεῖν, messen) bezeichnet. Gmelin führt in dem betreffenden Artikel [123] seines Wörterbuches die sechs eudiometrischen Methoden von Volta, Döbereiner, Achard-Berthollet-Parrot, Seguin, Scheele-De Marty und Fontana vor, wozu dann noch das wesentlich anders geartete Verfahren H. Davys hinzutritt. Als die Chemiker, welche sich besondere

Verdienste um dieses Problem der Luftzerlegung erworben haben, sind Black, Priestley, Scheele und Lavoisier zu nennen: Scheele ist der eigentliche Entdecker des Sauerstoffes [124], und Lavoisier [125] erklärte die Erscheinungen der Verbrennung und Oxydation, welche man bisher mit einem unwägbar in jedem Körper enthaltenen Stoffe, dem Phlogiston, in Verbindung gebracht hatte. In dem Werke von Dannemann [126] sind die entscheidenden Abschnitte der Abhandlungen von Scheele und Lavoisier in deutscher Uebersetzung zu finden.

Seit mehr denn hundert Jahren steht denn also folgender Erfahrungssatz fest: Die Luft setzt sich wesentlich aus Sauerstoff (O) und Stickstoff (N) zusammen, und zwar gehören im Durchschnitte 21 Volumteile Sauerstoff zu 79 Volumteilen Stickstoff, um 100 Volumteile atmosphärische Luft zu liefern. Als niemals fehlender, wennschon quantitativ untergeordneter Bestandteil stellt sich ferner die Kohlensäure (Kohlendioxyd, CO_2) dar. Diese drei Körper sind stets vorhanden; andere Gase hingegen kommen nur gelegentlich, als akzessorische Bestandteile, vor. Schliesslich sind auch fast unter allen Umständen tropfbar-flüssige und feste Zusatzkörper vorhanden, und der Wassergehalt wie auch der Staub der Atmosphäre erheischen eine gesonderte Betrachtung.

§. 8. **Die Hauptbestandteile der Atmosphäre.** Obwohl soeben ein festes Volumenverhältnis der beiden wichtigsten Gase angegeben ward, so ist dies doch nur als ein mittlerer Wert aufzufassen, und es muss auch der nicht ganz unbeträchtlichen Schwankungen gedacht werden, die sich im Prozentverhältnis nachweisen lassen. Es wird dann auch hier der Ort sein, einer gewissen Varietät des Sauerstoffes zu gedenken, welcher man ehedem allerdings wohl eine grössere Bedeutung für den Naturhaushalt beizulegen geneigt war, als ihr thatsächlich zukommt.

a) **Sauerstoff.** Von zeitlicher Schwankung des Sauerstoffes, so dass also am nämlichen Orte, und unter sonst gleichen Umständen, die eudiometrische Analyse verschiedene Werte ergäbe, kann kaum die Rede sein. Räumliche Schwankungen dagegen existieren, und zwar wechselt der Sauerstoffgehalt der Luft ziemlich stark mit der Meereshöhe, minder entschieden mit Länge und Breite.

Allerdings hatte v. Jolly [127] der Ansicht, dass längs der Erdoberfläche der Sauerstoff sich in stark wechselnden Mengen vorfinde, Bahn zu brechen gesucht, aber neuere Forschungen von Kreusler, Morley und Hempel haben ein ganz anderes Resultat ergeben [128]. Es wurden fünf Luftproben aus verschiedenen Teilen der Erde der Zerlegung unterworfen, und es stellten sich folgende Zahlen heraus: für Pará (Brasilien) 20,890 %, für Dresden 20,900 %, für Tromsöe (Norwegen) 20,920 %, für Bonn 20,922 %, für Cleveland (Nordamerika) 20,933 %. Als Mittel wäre somit 20,91 anzunehmen. Selbstverständlich wird hier nur an die freie Atmosphäre gedacht, denn dass in geschlossenen Räumen mitunter eine hinlänglich ausgiebige Verminderung der Sauerstoffmenge eintritt, um die Respiration zu gefährden, ist der Hygiene bekannt genug [129]. — Die Differenz zwischen Sommer und Winter macht sich nur bei genauer quantitativer Analyse bemerklich. Nach Ucke [130] ist die Halbjahrsschwankung eines Ortes um so stärker ausgesprochen, eine je kontinentalere Lage dem Orte zukommt.

Aus dem Mariotteschen Gesetze folgt ganz von selbst, dass die Luft in ihren höheren Lagen dünner als in ihren tieferen sein muss. Dünnerer Luft entspricht auch verringerter Sauerstoffgehalt, und zwar kann man, wie van Bebber angibt [131], den Fortschritt der Verdünnung nach oben folgender-

massen veranschlagen: In 4000 m Seehöhe ist der Sauerstoffgehalt auf 12,6 %, in 6000 m Höhe ist er auf 9,6 % herabgesunken. Es leuchtet ein, dass Organismen, die plötzlich in Gegenden von so schwachem Sauerstoffvorrate versetzt werden, krankhaften Erscheinungen ausgesetzt sein müssen. Kap. XI wird auch diese anthropogeographisch wichtigen Verhältnisse näher erörtern.

b) **Ozon.** Unsere Darstellung der geschichtlichen Entwickelung der Lehre vom Ozon schliesst sich an Englers umfassende Monographie [132] über diesen Gegenstand an. Es sollen aber auch die neueren Arbeiten Berücksichtigung finden.

Darauf, dass beim Durchschlagen des elektrischen Funkens durch Luft oder durch reinen Sauerstoff ein eigentümlicher Geruch sich bemerkbar mache, war zuerst van Marum aufmerksam geworden [133], aber trotzdem dauerte es noch fast sechzig Jahre, bis diese — und manche andere — gelegentliche Wahrnehmung theoretisch verwertet werden konnte. Ohne von solchen zu wissen, sprach zuerst Schönbein [134] die von ihm bei verschiedenen Anlässen bemerkte Erscheinung als Aeusserung einer neuen Substanz an, welche er Ozon (ὄζειν, riechen) nannte. Was es für eine Bewandtnis mit diesem Stoffe habe, suchte sein Entdecker in zahlreichen, hie und da wohl die Bedeutung des Ozons zu hoch taxierenden Schriften [135] zu ergründen, und als unbefangener Naturforscher hat er selbst seine Anschauungen mehrfach geändert. Der Meinung, dass Ozon nur modifizierter Sauerstoff sei, dass man es hier mit einem besonders charakteristischen Falle chemischer Allotropie (I, S. 361) zu thun habe, hat namentlich Andrews [136] zum Durchbruche verholfen. Auch Schönbein überzeugte sich von der grundsätzlichen Einheit des Ozons und Sauerstoffes und gab dann folgende neue Definition [137]: Negativ-aktiver Sauerstoff ist Ozon, positiv-aktiver Sauerstoff soll Antozon (ἀντί, gegen) heissen. Meissner sprach sich dahin aus [138], dass bei jedem Oxydationsprozesse, d. h. bei langsamer Verbrennung, sich der normale Sauerstoff in Ozon und Antozon spalte. Dieser Unterschied wird in der Gegenwart nicht mehr anerkannt. Wir übergehen die theoretischen Streitigkeiten zwischen Clausius, Marignac, Tait, Babo u. a., bei denen hauptsächlich die selbst heutigestags nicht endgültig gelöste Streitfrage, ob denn der Sauerstoff ein im strengsten Sinne unteilbarer Körper sei, eine Rolle spielte, und erwähnen nur noch, dass die Methoden der Ozonbildung bei Engler [139] sorgfältigst zusammengestellt sind. Hiezu sind dann noch die wesentlich den Vorlesungsversuch berücksichtigenden Ratschläge von Krebs [140] hinzuzunehmen. Die Thatsache, dass zwischen gewöhnlichem Sauerstoff und Ozon immerhin eine molekulartheoretische Verschiedenheit obwalten muss, geht auch aus den von Hautefeuille und Chappuis angestellten Experimenten [141] bezüglich der Verflüssigung des Sauerstoffes (I, S. 359) hervor.

Die neuere Chemie legt sich den zur Entstehung von Ozon führenden Vorgang wesentlich in folgendem Sinne zurecht [142]. Ein Molekül normalen Sauerstoffes zerfällt in zwei Atome, und indem sich je eines dieser Atome an ein noch unzerlegtes Sauerstoffmolekül anlegt, bilden sich dreiatomige Moleküle des genannten Grundstoffes. Dadurch wird das an sich schon vorhandene Oxydationsvermögen verstärkt; organische Pflanzenstoffe werden rascher zerstört, wie sich das in der Bleichung der Pflanzenfarben offenbart. Auf die Methoden der Ozonmessung wie auf die — lange Zeit viel zu optimistisch betrachtete — Beeinflussung des menschlichen Wohlbefindens durch den Ozongehalt der Luft kommen wir in Kap. II und XI zu sprechen. Hier sei nur eines einzigen Umstandes noch Erwähnung gethan [143]: Der atmosphärische Ozonreichtum hat eine jährliche Periode mit einem Maximum im Hochsommer und einem Minimum im strengen Winter.

c) **Stickstoff.** Am wenigsten würde an und für sich der atmosphärische Stickstoff (Stickgas, Nitrogenium, Azot) zu eingehenderer Untersuchung Veranlassung bieten, weil er nur unmerklichen Schwankungen ausgesetzt ist und auch durch längere Zeit dem Chemiker kein über das gewöhnliche Mass hinausgehendes Interesse einzuflössen schien. In unseren Tagen hat sich das jedoch sehr ge-

ändert, denn gerade aus diesem vermeintlichen Elemente wurde ein neues Gas gewonnen, welchem für gewisse geo- und kosmophysikalische Fragen eine grosse Zukunft zugesprochen werden muss. Dies ist das Argon (ἀργός, weiss; in übertragener Bedeutung so viel als faul, bequem).

Am 31. Januar 1895 beriefen die beiden englischen Physiker Lord Rayleigh und W. Ramsay eine besondere Sitzung der „Royal Society of Sciences“ ein, um derselben Mitteilung zu machen [144] von einem neuen Elemente, dem Argon (Symbol A), welches diesen seinen Namen wegen eines ungewöhnlich hohen Masses von Inaktivität erhalten sollte. Scheidet man aus gewöhnlicher Luft zunächst die darin enthaltenen Mengen von Sauerstoff, Wasser und Kohlensäure ab und leitet, was dann noch übrig blieb, über glühendes Magnesium, so absorbiert dieses den noch vorhandenen Stickstoff, und es bleibt ein Gas übrig, das sich durch die spektralanalytische Prüfung als ein vom Stickstoff, bei dem er sozusagen herbergt, grundverschiedener Körper herausstellte. Das neue Gas wurde ungefähr 20mal spezifisch schwerer als Wasserstoff gefunden; die kritische Temperatur (I, S. 355) liegt dem Anscheine nach bei — 120°. Das Argon bethätigt, wie schon erwähnt, gar keine Neigung, sich mit anderen Gasen zu verbinden, und eben aus diesem Grunde hat sich die Entdeckung des neuen Urstoffes so sehr verzögert. Grosse Wahrscheinlichkeit besteht dafür, dass das Argon zu dem (I, S. 79) in den alleräussersten Sonnenschichten nachgewiesenen Helium in verwandtschaftlichem Verhältnisse steht, denn allenthalben da, wo — in Laven, Meteorsteinen und Gassprudeln — Argon erkannt wurde, zeigte sich mit ihm vergesellschaftet ein zweites Gas, welches eben mit dem Helium identifiziert werden zu müssen scheint [145]. Im Argon der Luftumgebung von Bonn hat H. Kayser [146] zwei charakteristische Linien des Heliumspektrums nachweisen können.

d) **Kohlensäure.** Reine Kohlensäure ist ein farb- und fast geruchloses Gas, dessen Einatmung in grösserer Menge die Blutzirkulation hemmt und die Gesundheit benachteiligt. Das pflanzliche Leben dagegen wird durch dieses Gas geradezu unterhalten. Dass man Kohlensäure verhältnismässig leicht zu verdichten vermag, wurde schon (I, S. 359) betont.

Von Bonnet wurde zuerst [147] auf den Atmungsprozess der Pflanzen hingewiesen, und weiter wurde dieser Teil der Phytophysiologie durch Priestley, Ingenhouss, den jüngeren Saussure und vor allem durch Senebier [148] gefördert. Unter der Einwirkung des Sonnenlichts gewinnen alle grünen Blätter die Fähigkeit, Sauerstoff abzuscheiden und Kohlensäure aufzunehmen, während beim Fehlen des Lichtes der Vorgang der umgekehrte ist. Wenn, wie Müntz und Aubin konstatierten, nächst dem Kap Hoorn der Kohlensäuregehalt der Luft bei Nacht nicht zunahm [149], während solche Zunahme doch sonst die Regel bildet, so war daran zweifellos der fast gänzliche Vegetationsmangel jener öden Küstengegend schuld. Eine Charakteristik der sehr zahlreichen Verfahrungsweisen zur Ermittelung der in gegebenen Luftquantitäten enthaltenen Mengen von Kohlensäure kann hier nicht gegeben werden, wohl aber sollen, den wertvollen Zusammenstellungen von Heine [150] und van Bebber [151] entsprechend, einige Zahlen mitgeteilt werden. Wir geben ausschliesslich Mittelwerte und führen die Prozentzahlen an; mit 10 multipliziert, zeigen sie, wie viel Liter Kohlensäure sich in 1 cbm Luft vorfanden. Es kommt so folgende Tabelle (S. 17) zu stande:

Die Zahlen I und II der beiden letzten Horizontalreihen sollen aussagen, dass zuerst bei Nebel, dann aber an nebelfreien Tagen die Messung vorgenommen worden ist. Man überzeugt sich von dem Vorhandensein namhafter Schwankungen und sieht sofort: Die Nähe menschlicher Wohnungen und zuallermeist gewerblicher Betriebsstätten lässt den Kohlensäuregehalt der Atmosphäre rasch ansteigen.

Blochmann, der das Dalton-Pettenkofersche Titrierverfahren als das am bequemsten zum Ziele führende empfiehlt, fasst unser Wissen vom atmosphärischen Kohlendioxyd zusammen [152], wie folgt. Durchschnittlicher Prozentgehalt der Luft an diesem Gase ist 0,030; in 1 cbm Luft sind im Mittel 0,3 l oder — an Gewicht — 0,6 g Kohlensäure enthalten. Erhebliche Unterschiede zwischen Meer-

Beobachter	Mittelwert	Beobachter	Mittelwert
Th. Saussure (Genf) .	0,0415	Fittbogen (Dahme bei Jüterbog)	0,0292
Thénard (Paris) . .	0,04	Thorpe (Meerbeobachtungen) .	0,03015
Boussingault. . .	0,04	Reiset (bei Dieppe) . , . . .	0,0298
Gilm.	0,0420	A. Smith (in Madrid)	0,0516
Verver.	0,0315	A. Smith (bei Madrid)	0,0450
Truchet	0,04	A. Smith (auf Plätzen Londons) .	0,04425
v. Zittel (Wüstenluft) .	0,0375	A. Smith (in Parks von London)	0,0301
Clason.	0,0279	Mascagno (in Palermo) . . .	0,0360
Armstrong	0.0328	Reiset (in Paris)	0,0338
Fr. Schulze (Rostock) .	0,0292	Fodor (Budapest)	0,03885
Henneberg (Göttingen)	0,0332	Müntz-Aubin (in Paris) . . .	0.0380
A. Lévy (Montsouris) .	0,0297	Spring-Roland (in London I) .	0,072
Petermann (Gembloux)	0,0260	Spring-Roland (in London II)	0,040

und Festlandluft sind in dieser Hinsicht nicht zu erkennen. Lokale Einflüsse (Vegetation, Verbrennungs- und Verwesungsprodukte) machen sich nur auf kleine Entfernungen hin geltend, und nur durch vulkanische Eruptionen wird der Gehalt von CO_2 auch in grösserer Distanz geändert. Die vertikalen Schwankungen der Kohlensäure sind, wie Hann hervorhob [153], bei weitem nicht so bedeutend, als dies früher nach den Angaben der Gebrüder Schlagintweit angenommen worden war; ja nach Marcet und Landrist verteilt sich [154], wenigstens im Schweizer Jura, bei nebelfreier Luft die Kohlensäure gleichförmig durch alle Luftschichten. Wir haben auch diesem Faktor des Naturhaushalts im Kap. XI nochmals näher zu treten, wie auch dort der Kohlensäure in der Bodenluft zu gedenken sein wird.

§. 9. **Die akzessorischen Bestandteile der Atmosphäre.** Durch besondere Umstände können selbstredend der Luft die mannigfaltigsten Stoffe vorübergehend einverleibt werden, und es wäre unmöglich, ihnen sämtlich bei der Aufzählung gerecht zu werden. Beachtenswert ist, hauptsächlich wegen seiner Aehnlichkeit mit dem Ozon, das Wasserstoffsuperoxyd (H_2O_2); beide Stoffe sind, wie v. Ilosvay bemerkt [155], nicht mit voller Sicherheit in der Atmosphäre nachzuweisen, wiewohl sie sich in gewissen Reaktionen voneinander unterscheiden [156]. Als Verunreinigungen der Luft kennzeichnet man generell gewisse Beimengungen, welche mehr bloss den Hygieniker interessieren, und welche Renk [157] als irrespirable, giftige und indifferente Gase klassifiziert. Zu den letzteren gehört das mitunter in der Nähe vulkanischer Ausbruchstellen wahrzunehmende Wasserstoffgas. Irrespirabel sind vielfach die Luftarten, welche nach Pechuël-Lösches Mitteilungen die Zwischenräume des porösen Lateritbodens in Afrika erfüllen [158]; diese Luft ist mit Fäulnisprodukten geschwängert und macht sich der Nase unangenehm bemerklich („Geruch der Savanne“ gegenüber dem „Kulturgeruch des Ackers“). Als häufig vorkommende akzessorische Bestandteile der Luft sind bloss drei Gase anzuerkennen [159]: Ammoniak, Salpetersäure und salpetrige Säure; auch die Schwefelsäure ist nicht zu vergessen.

a) **Ammoniak.** Dieser früher als alkalisches Gas bekannte Körper (NH_3) ist gewöhnlich in schwachen Mengen erkennbar. Doch fehlt es noch an genauen quantitativen Methoden des Nachweises, und

die für das Vorkommen des Ammoniaks in der Luft ermittelten Zahlen weisen grosse Unterschiede auf.

Natürlich ist der Ammoniakgehalt der Stadtluft ein weit stärkerer als derjenige der Freilandluft. Schon deshalb hält sich dieses Gas nicht sehr lange in der Atmosphäre, weil die Niederschläge ununterbrochen reinigend wirken. Man hat vielfach Messungen im meteorischen Wasser vorgenommen, und es ist dabei, zumal dank den Beobachtungen von Müntz und Macano, ein merkwürdiger Umstand hervorgetreten [160], indem ganz allgemein das Regenwasser unter den Tropen etwa 10mal reicher an Nitriten und Nitraten ist, als das unsrige. Völlig fehlen dagegen meistenteils Nitrate in der Waldluft; diese Entdeckung Ebermayers [161] ist von Wichtigkeit für die Hygiene des Waldes.

b) **Salpetersäure** (HNO_3). Diese stark ätzende Säure bildet, zumal nach Gewittern, oft einen nicht ganz unbeträchtlichen Bestandteil des vom Himmel kommenden Wassers. Eichhorn fand an acht verschiedenen Orten je in einem Liter Regenwasser 0,72, 1,72, 2,87, 6,18, 0,85, 1,01, 2,99, 1,33 Milligramm dieses Gases [162].

Auch diesmal gilt der Satz, dass die Tropenluft weit reicher an Salpetersäure ist. Vergleicht man [163] die Mittelwerte m_1 von Deutschland und m_2 von England mit dem Werte m_3, welchen eine längere Beobachtungsreihe in Venezuela für den durchschnittlichen Salpetersäuregehalt des dortigen Regenwassers ergeben hat, so erhält man: $m_3 = 17,5\, m_1$; $m_3 = 6,9\, m_2$.

c) **Salpetrige Säure** (N_2O_3). Dieselbe wird, ihrer chemischen Formel gemäss, auch Stickstofftrioxyd genannt. Genaue messende Untersuchungen über das Auftreten des von anderen Stickstoffverbindungen nur schwer zu scheidenden Körpers in unserer Atmosphäre liegen nicht vor.

d) **Schwefelsäure und schweflige Säure.** Auf das Vorkommen dieser beiden Stoffe war man schon früher gelegentlich aufmerksam geworden. Doch sind dieselben wesentlich an die Luft über industriereichen Städten gebunden.

Die wasserfreie Schwefelsäure (SO_3, Schwefeltrioxyd) und die schweflige Säure (SO_2, Schwefeldioxyd) sind von Sendtner [164] und C. Lang [165] als gefährliche Feinde der Bildwerke in Städten signalisiert worden. Zumal seitdem sich Steinkohlenfeuerung mehr und mehr eingebürgert hat, nahmen jene ätzenden Gase an Menge in der Luft zu, und vorab der fallende Schnee ist damit derart stark beladen, dass z. B. eine dem Schneetreiben ausgesetzte Marmorstatue in Bälde Spuren der korrosiven Wirkung jener Säuren wahrnehmen lassen muss. Es ist weniger der Neuschnee, der dies bewirkt, sondern es scheiden sich die schädlichen Gase erst nach einiger Zeit aus. Am 14. Tage nach heftigem Schnefalle übertraf die Quantität der in München nachweisbaren schwefligen Säure diejenige, welche man in dem 7 km entfernten Fürstenrieder Parke bestimmt hatte, um das 8fache.

§. 10. **Festkörper in der Atmosphäre.** Wir unterscheiden zweierlei Arten von Festkörpern in der Atmosphäre: solche, welche durch den Wind in die Luft emporgehoben wurden und gleich wieder zu Boden fallen, und solche, welche sich längere Zeit in der Luft schwebend erhalten. Im ersteren Falle werden wir es mit grösseren und schwereren, im zweiten mit leichten, fein verteilten und grösstenteils unsichtbaren Körpern zu thun haben. Für die Gesamtheit dieser letzteren gebrauchen wir die zusammenfassende Bezeichnung Staub.

a) **Das Herabfallen von Gegenstanden aus der Luft.** Dass kleine Tiere vom Winde fortgerissen werden und bald wieder zur Erde fallen, ist zum öfteren behauptet, aber noch selten durch einwandfreie Zeugen bestätigt worden, so wenig auch an und für sich die Sache für unmöglich erklärt werden kann. Von der Thatsächlichkeit des Frosch- und Wurmregens spricht der sonst besonnene Cochlaeus (I, S. 14) zu Beginn des XVI. Jahrhunderts, indem er für diese Tiere eine äquivoke, geschlechtslose Zeugung beansprucht [166]. Noch anderthalb Jahrhunderte nachher behauptete der gelehrte Naturhistoriker Worm, dass Tiere aus den Wolken herabfallen könnten [167]. Immerhin liegen für kleine Fische, für Raupen und Insekten Zeugnisse vor, die nicht als verwerflich gelten können; für die ältere Zeit hat Muncke [168] dieselben gesammelt.

Weit mehr Sicherheit gewähren die Nachrichten über Blut- und Schwefelregen, nur dass dieselben weder mit wirklichem Blute, noch mit wirklichem Schwefel das geringste zu thun haben. Der Erscheinung des sogenannten Blutregens hat zuerst Ehrenberg genauer nachgespürt [169], und die beiden hierher gehörigen Schriften [170], welche so ziemlich am Ein- und Ausgange einer viertelhundertjährigen Forschungsarbeit über diese Dinge stehen, klären uns über den Fortschritt unserer Erkenntnis bestens auf. Indem er zugleich die über dem Atlantischen Ozean häufigen Staubfälle (s. u.) zum Vergleiche heranzog, kam er zu dem Schlusse, dass neben zahlreichen anorganischen Körpern auch kleinste tierische und pflanzliche Lebewesen, wenn die Luftfeuchtigkeit zunimmt, sich zur Oberfläche der Erde herabsenken. Die mit solchen Fremdkörpern sich mengenden Regentropfen bedecken dann beim Zerfliessen den Boden mit einem braunen oder rötlichen Ueberzuge. Mitunter nimmt derselbe sogar eine tiefschwarze Färbung an, und man hat dann wohl auch von einem Tintenregen erzählen hören. So schlug sich am 14. August 1888 an vielen Orten der Kapkolonie tintenschwarzes Wasser nieder [171], was auf eine Vermengung des Regens mit Vulkan- oder Meteorstaub hindeuten dürfte. — Der Schwefelregen ist eine minder seltene Erscheinung, und bereits 1761 erkannte die Pariser Akademie in dem gelblichen Pulver, welches ihr als Residuum eines solchen Regens eingesandt worden war, den Blütenstaub von Koniferen [172]. Die verschiedensten Pflanzenteile können hier konkurrieren. Göppert [173] untersuchte die Frage ganz allgemein unter dem botanischen Gesichtspunkte und fand, dass, wenn Angaben über einen Schwefelregen vorliegen, im März und April zumeist Erle und Haselnussstaude, im Mai und Juni Fichte, Birke und Wacholderstrauch, im Herbst aber Bärlappsamen und Sumpfgewächse das Material geliefert haben.

b) **Staub.** Wie schon (s. o.) bemerkt, bedienen wir uns des Wortes Staub hier in etwas umfassenderem Sinne, als dies unsere Umgangssprache zu thun pflegt. Mit Nägeli und Renk (S. 17) unterscheiden wir drei Gattungen von Staub: sichtbare Stäubchen, wenn jedes Staubkorn, einzeln für sich, dem blossen Auge erkennbar ist; Sonnenstäubchen, welche wenigstens in ihrer Gesamtheit durch darauf fallendes Licht sich zu erkennen geben, wenn z. B. ein Sonnenstrahl durch eine kleine Oeffnung in einen dunklen Raum eintritt; endlich unsichtbare Stäubchen. Während der Staub anfänglich bloss für die Gesundheitspflege in Betracht zu kommen schien, ist er durch Aitken, Tissandier und Assmann auch zu einem hochwichtigen Untersuchungsobjekte der Meteorologie erhoben worden, Der letztgenannte Forscher hat zuerst in Deutschland dazu beigetragen [174], dass die Bedeutung der kleinsten in der Luft schwebenden Festkörperteilchen richtig gewürdigt zu werden begann.

Die Staubpartikeln sind losgerissene Teile der Erdfeste, und es leuchtet deshalb von selber ein, dass auf hoher See ungleich weniger Staub angetroffen werden wird, wie auf dem Lande. Die Beobachtungen von Dennis haben bekräftigt [175], was schon von Hause aus als notwendig erscheinen musste. Freilich ereignen sich Staubfälle auch auf dem Meere, wie denn auf deutsche Schiffe noch in 2500 km Entfernung von der afrikanischen Westküste Staub niederfiel, dessen Herkunft aus der Sáhara nicht verkannt werden konnte [176]. Der schotticbe Physiker Aitken hat einen tragbaren Staubzähler konstruiert, mit dessen Hilfe er an verschiedenen Orten die Anzahl der in einem gegebenen Luftquantum enthaltenen Staubkörner ermitteln konnte [177]. Wie sehr die dem Festboden nächst anliegenden Luftschichten von den aufsteigenden Luftströmen beeinflusst werden, während in grösserer Höhe die Verhältnisse viel stabiler sind, geht daraus hervor, dass auf dem Pariser Eiffelturm die Grenzen zwischen 226 und 104000, auf dem Gipfel des schottischen Berges Ben Newis hingegen nur zwischen 334 und 473

schwankten. Ueberhaupt liefern die auf Hochstationen angestellten Messungen recht konstante Zahlen; nur dann, wenn sich über der Bergspitze Wolken bilden, zu denen die Thalluft erheblich beitrug, ist auch da die Veränderlichkeit der Staubmengen eine viel bedeutendere. In einem Kubikcentimeter atmosphärischer Luft fand man die nachstéhend bezeichneten Mengen von Staubkernen: in nasser, freier Luft 32000; in trockener, freier Luft 130000; in Stubenluft, etwa 1 m über dem Boden, 1860000; nächst der Zimmerdecke 5420000; über einem Bunsen-Brenner 30 Millionen. Ausgedehnte Beobachtungen, welche Aitken auf Rigi-Kulm vornahm, ergaben Aufschlüsse von prinzipiellem Werte [178], mit denen uns der weitere Verlauf dieses Kapitels bekannt machen wird; nicht minder wird auch Kap. III uns die Sache nochmals vorzunehmen nötigen. Eine jährliche und tägliche Periode des atmosphärischen Staubgehaltes ist unverkennbar [179], doch fallen die Maxima und Minima keineswegs überall auf die nämliche Zeit. Sehr staubfrei fand begreiflicherweise Ebermayer (s. o.) die Luft des Waldes, vorab des Laubwaldes, indem das Laubwerk den Dienst eines Filters besorgt, und wesentlich diesem Umstande, nicht jedoch vermeintlichem Ueberflusse von Ozon, ist (vgl. unten in Kap. XI) die Salubrität zu danken, welche man dem Walde nicht ohne Ursache nachrühmt.

Von Staubregen und Staubfällen (s. auch I, S. 99) hatten wir bereits zu sprechen. Es kann jedoch auch geschehen, dass grosse Staubansammlungen in der Luft, welche zunächst noch durchaus keinen kosmischen Charakter zu besitzen brauchen, eine förmliche Verdüsterung, eine starke Verminderung der Tageshelle und des Sonnenglanzes herbeiführen. Manchen Ländern sind gewisse trockene Nebel eigen; Mitteleuropa leidet unter dem Moorrauche.

c) **Trockene Nebel.** Den Bewohnern der südlichen Halbinseln Europas sind solche Dunstschichten am Himmel wohl bekannt; Th. Fischer hat in seiner wohlbekannten Monographie über das Klima Südwesteuropas auch auf sie als Scirocco-Vorboten hingewiesen [180]. Bezeichnend nennen Italiener und Spanier das Phänomen in übereinstimmender Weise den „dunklen Nebel“ (Caligine, Calina). Der Azur des südspanischen Himmels wird durch diesen Hitzedunst, wie ihn der Botaniker Willkomm nennt, häufig getrübt [181]. Auch das Wehen des Chamsin-Windes pflegen solche Lufttrübungen zu begleiten, weil eben eine Menge emporgewehter, feinster Wüstensandkörperchen sich wie ein Schleier vor das Firmament legt. Schläfli hat diesen Dunstschleier in Bagdad Hochstaub, v. Vivenot hat ihn in Palermo nebelige Trübung genannt [182]. Die Sonne blinkt zwar am Himmel, aber die Macht der Strahlung fehlt ihrer mattrötlich blinkenden Scheibe.

d) **Moorrauch.** Aeusserlich kommt die Morrauchverfinsterung der Atmosphäre völlig mit jenen Staubnebeln überein, aber der primäre Entstehungsgrund ist ein anderer. Gewöhnlich gelten bei uns die Begriffe Höhenrauch und Moorrauch für identisch, allein Assmann (s. o.) erblickt in ersterem nur eines der gewöhnlichen, auch anderwärts vorkommenden Staubagglomerate und scheidet ihn von der weit dauerhafteren Erscheinung des Morrauches, der auch als Haarrauch, Heiderauch und Landrauch bekannt ist. Die Genese dieses letzteren, der die Sinnesorgane auch weit abliegender Gegenden nur allzu empfindlich berührt, wurde erst in unserem Jahrhundert durch die Arbeiten des westfälischen Arztes Finke [183] klargestellt. Er rührt davon her, dass man in den deutschen Nordseeländern vielfach die gelockerte oberste Schicht des Torfbodens in Brand steckt, um dadurch eine gewisse Düngung zu erreichen. Moorrauch aus Oldenburg und Ostfriesland wurde bei nordwestlichem Winde sogar in Galizien und Ungarn verspürt. Der „Nordwestdeutsche Verein gegen das Moorbrennen“ hat seit 1870 dieser Unsitte schon einigermassen Einhalt gethan [184]. — Das Stoppelverbrennen in vielen Provinzen Russlands („Tumom-yär“) bewirkt ähnliche Luftverschlechterung, und eine gleiche Wirkung muss den in jenem Lande wie auch in Nordamerika so häufigen Waldbränden zugeschrieben werden. Endlich ist auch der Vulkanstaub (I, S. 385) ein Nebel bildender Faktor von nicht geringer Bedeutung; seine optischen Manifestationen haben wir in Kap. III näher zu würdigen.

§. 11. **Der atmosphärische Wasserdampf.** Wohl nirgends auf der Erde fehlt gänzlich das in der Form von Dämpfen der Atmosphäre beigemengte Wasser in der Atmosphäre, welches ursprünglich ein Bestandteil der eigentlichen Hydrosphäre war und entweder durch den langsameren Prozess der Verdunstung oder durch den rascher wirkenden Prozess der Verdampfung in die Luft übergeführt wurde. Die Art und Weise dieser Ueberführung wurde lange falsch aufgefasst, und selbst nachdem man dieselbe richtig zu verstehen angefangen hatte, blieb noch manche Unklarheit zurück betreffs des Zustandes, in welchem sich die Wasserteilchen der Atmosphäre einverleiben.

In älterer Zeit war die Meinung herrschend, dass Wasser und Luft eine chemische Verbindung miteinander eingingen, welche sich bei einer gewissen Abkühlung wieder in ihre Urbestandteile auflöse [185]. Dies war der Standpunkt Le Roys [186], und auch Saussure [187] sah im Wasserdampfe eine Verbindung des Wassers mit dem — damals allgemein als unwägbare Materie definierten — Wärmestoffe. Gegen diese Annahme wandte sich Deluc [188]; ihm zufolge verwandelte sich das Wasser durch den Verdampfungsakt in eine neue, eigentümliche Gasart, welche sich hygroskopisch nicht nachweisen lasse und erst bei der Umwandlung in Regen wieder hervortrete. Im wesentlichen auf dieselbe Seite traten Lampadius [189] und Lichtenberg [190], indem gleichzeitig bestimmter die Elektrizität als das die Umwandlung bethätigende Agens bezeichnet ward; als beachtenswerter Gegner bekämpfte Zylius [191] solche Vorstellungen. Der Urheber der modernen Theorie des Auflösungs- und Kondensationsprozesses ist James Hutton [192] (I, S. 24). Ihm zufolge bleibt das Wasser auch in der Luft wirkliches Wasser, das nur dem Auge zeitweilig entzogen ist und erst durch Koagulation sich den Sinnen wieder bemerklich macht, während geeignete Apparate und Beobachtungen von seinem Vorhandensein auch in der Zwischenzeit Rechenschaft geben.

Dass das atmosphärische Wasser die von den Gesetzen der Hydrostatik vorgezeichnete sphärische Gestalt einnehmen muss, bedarf keines weiteren Beweises, aber eine zweite Frage drängt sich uns gebieterisch auf: Sind die in der Luft schwebenden Wasserteilchen für Hohlkugeln (Bläschen) oder für massive Wasserkugeln (Tropfen) zu erachten? Die Bläschentheorie wurde von Kratzenstein [193] in Schutz genommen und fand später einen Verteidiger in Clausius [194], auf dessen Autorität hin sie in allgemein geachtete Lehrbücher überging. Gerade aber auch mittelst dioptrischer Erwägungen gelangte F. Roth [195] zu der entgegengesetzten Ansicht, dass man es nämlich mit Vollkugeln zu thun habe, und diese wird jetzt allgemein geteilt. Unter anderem Gesichtspunkte hatten zuvor bereits Kober [196] und Obermayer [197] diese letztere Anschauung befürwortet, die auch dadurch nicht beeinträchtigt wird, dass die Rechnungen Königs [198] eines der gebrauchten Argumente — dasjenige von einer alles Mass überschreitenden Oberflächenspannung der Wasserbläschen — als nicht durchschlagend ergeben hatten. Ein zum Auge sprechender Beweisgrund ist endlich durch Assmanns [199] Mikroskopierung von Tropfen im Momente des Gefrierens gegeben.

Wenn wir nun also schon über Entstehung und Beschaffenheit der Wasserdämpfe in unserer Luft einige Anhaltspunkte gewonnen haben, so ist damit doch noch der Vorgang nicht in allen Einzelheiten aufgehellt. Wir werden sogleich, indem wir auf die hiefür massgebenden Studien von R. v. Helmholtz [200] Bezug nehmen, uns überzeugen, dass zwei Bedingungen gegeben sein müssen, um Dampf- und Nebelbildung zu ermöglichen. Es ist notwendig, dass sich die feuchte Luft adiabatisch ausdehne, und es ist weiter notwendig, dass sich in der Atmosphäre feinst verteilte Festkörper suspendiert vorfinden, deren jeder das Ansatzzentrum für das sich konzentrisch um ihn lagernde Wasserkügelchen darstellen kann.

Jedem Stoffe eignet ein gewisser innerer Wärmevorrat, und wenn nun die Ausdehnung eines Körpers ausschliesslich auf Kosten dieser Eigenwärme erfolgt, ohne dass eine Wärmeeinwirkung von aussen mit ins Spiel käme, so nennt man die Ausdehnung eine adiabatische (διά, durch; βαίνειν, gehen; ἀδιάβατος, unzugänglich, nämlich für externe Wärme). Wenn dann eine Druckabnahme von zu berechnender Grösse eintritt, so treten die kleinen Wasserkugeln zusammen, und die Nebelbildung ist eingeleitet. Allein dann, wenn die feuchte Luft zuvor filtriert, d. h. von allen fremdartigen Gemengteilen befreit worden war, genügt auch eine stärkere Druckherabsetzung nicht, weil eben die Kerne der zusammengerinnenden Wasserkugeln fehlen. Hat sich aber erst einmal eine ganz minimale Kugel gebildet, dann geht die Vergrösserung sehr rasch vor sich. Es scheint allerdings, dass Kondensation auch ohne Staubkörner nicht unmöglich ist, aber diese letzteren befördern die Rückbildung aus Dampf in Wasser jedenfalls auf das kräftigste. Und über mässig grosse Tröpfchen schreitet die Koagulation nicht fort, wenn sozusagen die Krystallisationskerne fehlen.

Die Dichte des in der angegebenen Weise entstehenden Nebels hängt wesentlich von der Beschaffenheit der Staubmassen ab. Bei einem Versuche Aitkens wurden zwei gleich grosse, mit Wasserdampf gefüllte Ballons, welche bezüglich Verbrennungsprodukte von Schwefel und Paraffin enthielten, mit einem luftleeren Raume derart in Verbindung gebracht, dass in beiden Ballons die gleiche Verdünnung hergestellt werden konnte. Trotzdem war im Schwefelballon der Nebel ein viel dichterer, als im Paraffinballon. Auffällig erscheint der Gegensatz zwischen Stadt- und Landnebel, indem der erstere, um diesen Ausdruck zu wählen, eine weitaus feinere Struktur besitzt. Auch die neueren Untersuchungen über den übel beleumundeten Londoner Nebel müssen uns an dieser Stelle besonders interessieren. Derselbe tritt in den Wintermonaten so intensiv auf, dass z. B. vom November 1889 bis zum März 1890 die Photographen der inneren Stadtteile wegen Lichtmangels ihre Arbeit einzustellen gezwungen waren [201]. Nach Russell [202] wird der durch seine schmutzig gelbe Farbe berüchtigte Nebel durch eine mechanische Verbindung von Wasser- und Kohlenteilen erzeugt, und den Perioden stärkster Ofenheizung entspricht zeitlich eine besonders kräftige Undurchdringlichkeit. Windstille, relativ niedrige Temperatur der untersten Luftschichten, namhafte Feuchtigkeit und lebhafte Bodenausstrahlung werden als Förderungsmittel betrachtet.

Nicht alle Staubkörner eignen sich gleich gut dazu, Träger des Rückbildungsprozesses des atmosphärischen Wassers zu sein; diese Körper müssen vielmehr sehr klein sein, und es scheint, dass sie als makroskopische Gebilde zu gedachtem Zwecke von vornherein untauglich sind. Helmholtz nimmt als obere Grenze für ihren Durchmesser 0,0002 mm an; in diesem Falle würden sie also auch noch unterhalb der Grenze des mikroskopischen Sehens verbleiben. In der That ist es Assmann nicht gelungen [203], den Kernkörper auch unter günstigen Verhältnissen erkennen zu können.

Nunmehr sind wir orientiert über die Bedeutung des Wortes: Die Luft ist feucht. Allerdings jedoch haben wir über die Möglichkeit, den Wassergehalt der Atmosphäre messend zu bestimmen, noch keinen Aufschluss bekommen, und es tritt deshalb die Pflicht an uns heran, das Wesen dreier vielfach gebrauchter Begriffe zu definieren. Es sind diese: absolute Feuchtigkeit, relative Feuchtigkeit, Sättigungsdefizit. Unseres Wissens besitzt lediglich die italienische Litteratur ein ganz ausschliesslich die Lehre von der Feuchtigkeit behandelndes Kompendium. Es rührt von Cantoni her [204] und ward von uns mehrfach zu Rate gezogen.

a) **Absolute Feuchtigkeit.** Die Luft kann bei einer gewissen Temperatur auch nur eine gewisse Menge Wasserdampf in sich aufnehmen; steigt die Temperatur, so wird das Aufnahmevermögen grösser, während beim Sinken der Temperatur auch die Quantität des aufzunehmenden Wassers geringer wird. Ein Luftquantum wird als mit Feuchtigkeit gesättigt bezeichnet, wenn es gerade so viel Wasser in sich aufgenommen hat, als bei der herrschenden Temperatur

überhaupt möglich ist, so dass also nunmehr auch der geringste Temperaturnachlass eine partielle Ausscheidung des Dampfes in Form von tropfbarer Flüssigkeit nach sich zieht. Man sagt dann auch, die Temperatur sei am Taupunkte angelangt. Die trockene Atmosphäre übt für sich einen gewissen Druck auf alle in ihr befindlichen Gegenstände aus, und wenn die Atmosphäre feucht ist, so setzt sich der Gesamtdruck aus dem Drucke der Luft und aus der Dampfspannung zusammen. Diese letztere ist gleichbedeutend mit der absoluten Feuchtigkeit; ihr numerischer Wert ist f, wenn der in der Atmosphäre momentan enthaltene Wasserdampf für sich allein einer Quecksilbersäule von f mm Höhe das Gleichgewicht hält. — Diese numerische Charakteristik des atmosphärischen Feuchtigkeitsgehaltes geht in der Hauptsache auf Dalton zurück, den Begründer des Diffusionsgesetzes für Gase und Dämpfe [205]. Diesem zufolge durchdringen im nämlichen Raum Gase und Dämpfe einander ganz ungehindert, und der Gesamtdruck der so resultierenden elastischen Flüssigkeit ist gleich der Summe aller Einzeldrucke der Bestandteile. Muncke teilt uns mit [206], dass diese Lehre viele Anfechtungen durch Berthollet, Gough, Tralles u. a. erfahren habe, während nur einzelne, wie Benzenberg und W. Henry, sich für Dalton aussprachen. Wohl der heftigste Gegner war E. G. Fischer [207], der noch nicht völlig mit der oben erwähnten chemischen Solutionstheorie gebrochen hatte. Dasjenige, was an Daltons Doktrin richtig war, hob J. v. Lamont [208] scharf hervor, und danach haben wir thatsächlich das Recht, den Dampfdruck unabhängig vom Luftdruck zu messen, obwohl es andererseits nicht angängig wäre, den Druck der trockenen Luft einfach gleich Barometerstand minus Dampfspannung zu setzen.

b) **Relative Feuchtigkeit.** Wichtiger für Meteorologie und Klimatologie ist eine gewisse unbenannte Zahl, welche als relative Feuchtigkeit bekannt ist. Dieselbe ist gleich einem echten Bruche, in dessen Zähler die aktuelle Dampfmenge steht, während in den Nenner diejenige Dampfmenge kommt, welche die Luft bei der augenbicklichen Temperatur überhaupt aufzunehmen im stande wäre [209]. Wenn also das Maximum der Sättigung erreicht ist, d. h. wenn die Temperatur am Taupunkte steht, so werden Zähler und Nenner des Bruches gleich gross, und letzterer nimmt seinen Normalwert 1 an, während die relative Feuchtigkeit, ebenso wie die absolute, gleich Null werden würde, wenn die Bestimmung in einem absolut trockenen Raume stattfände. Man ist gewohnt, die relative Feuchtigkeit in Prozenten anzugeben, so dass also der Wert obigen Bruches noch stets mit 100 zu multiplizieren sein wird.

c) **Sättigungsdefizit.** Erst die neueste Zeit hat es uns als wünschenswert erscheinen lassen, auch noch eine dritte für den Dampfgehalt der Luft massgebende Grösse in Zahlen auszudrücken. Diejenige Dampfmenge, welche zu der bereits in der Luft vorhandenen Dampfmenge noch hinzukommen müsste, um bei den obwaltenden Temperaturverhältnissen die Maximalspannung herbeizuführen, ist das Sättigungsdefizit. Die Notwendigkeit, diesen Ausdruck zu berücksichtigen, haben Wild [210] und H. Mayer [211], jeder für sich, betont; Deneke [212] hat die hohe hygienische Tragweite einer solchen Erweiterung der Lehre von der Luftfeuchtigkeit nachgewiesen; Weihrauch [213] endlich verbreitete sich über die möglichst exakte Bestimmung des Mittelwertes der in Rede stehenden Grösse. Wenn f der Mittelwert der absoluten, f′ derjenige der relativen Feuchtigkeit und Δ der wahre Mittelwert des Sättigungsdefizits ist, so soll $\Delta = f(1 - f') : f'$ gesetzt werden.

d) **Beispiel zu a), b), c).** Um den Zusammenhang der drei vorstehend erläuterten Begriffe in möglichst klares Licht zu setzen, führen wir nach van Bebber [214] eine Zahlenbetrachtung vollständig durch. Es gibt Tafeln, aus denen man ersehen kann, wie viel Gramm Wasser ein Kubikmeter Luft bei gegebener Temperatur aufnehmen kann. Bei 10° ist der zugehörige Druck des Wasserdampfes bei Sättigung dadurch bestimmt, dass er eine Quecksilbersäule von 9,1 mm äquilibriert; da der Taupunkt erreicht ist, so haben wir die absolute Feuchtigkeit 9,1, die relative Feuchtigkeit 100 und das Sättigungsdefizit 0. Die Temperatur steigt, ohne dass die Menge des Wasserdampfes sich geändert hätte; hat erstere 20° erreicht, so wird die absolute Feuchtigkeit, wie die Tabelle zeigt, gleich 9,4, und es könnte nunmehr die Luft 17,1 g Wasserdampf aufnehmen. Es ist mithin die

relative Feuchtigkeit gleich (9,4 . 100) : 17,1, d. h. ungefähr = 53, während das Sättigungsdefizit der Differenz 17,1 — 9,4 = 7,7 gleich geworden ist.

Durch die Feuchtigkeitsaufnahme sind die Hydrometeore (ὕδωρ, Wasser; μετέωρος, Lufterscheinung) der Atmosphäre bedingt, wässerige Ausscheidungen von sehr verschiedener Konsistenz. Wir trennen dieselben in drei Gruppen: solche, die der Erdoberfläche nächst benachbart sind; solche, welche in jeder beliebigen Höhe auftreten; und endlich solche, welche gewissermassen die Verbindung zwischen oben und unten herstellen. In die erste Kategorie gehören also Tau, Reif, Rauhfrost und Glatteis, in die zweite Nebel und Wolken und in die dritte die Niederschläge: Regen, Schnee, Graupeln- und Eisfall und Hagel. Alle diese Modalitäten kommen in den drei nächsten Paragraphen zur Sprache, indem nur der Hagelfall besser dem von der dynamischen Meteorologie handelnden sechsten Kapitel vorbehalten bleibt.

§. 12. **Tau, Reif, Rauhfrost und Glatteis.** Die vier hier zusammengefassten Erscheinungsformen des wässerigen Niederschlages haben das miteinander gemein, dass sie an Objekten der Erdoberfläche haften. In früherer Zeit wurden sie auch als genetisch kaum verschiedene Phänomene angesehen. Es hat sich jedoch, wie wir sehen werden, herausgestellt, dass bei vielfacher Uebereinstimmung doch auch Verschiedenheiten von nicht untergeordneter Bedeutung beachtet sein wollen.

a) **Tau.** Die altgewohnte Redeweise — der Tau fällt — entspricht nicht der Wahrheit. Allerdings stammt das von uns Tau genannte Wasser aus der Atmosphäre, aber die Art des Austrittes ist durchaus keine so leicht zu übersehende. Tau kann sich auf zweierlei Weisen bilden: durch unmittelbare Kondensation des mit dem erkalteten Boden in Berührung tretenden Wasserdampfes und durch Wiederaustritt des vom Erdreich oder von anderen Gegenständen absorbierten Wassers an deren Oberfläche.

Die Irrlehre, dass der Tau von oben herabkomme, hat zuerst Le Roy in Montpellier (s. o.) um die Mitte des XVIII. Jahrhunderts widerlegt; Jamin hat sodann das Verdienst dieses früher zu wenig gekannten Mannes richtig gewürdigt [215]. Auch deutete er bereits den richtigen, von der Nachwelt bestätigten Gedanken an, dass bei der Kälte der Nacht die Luft den bei Tage verschluckten Wasserdampf nicht bei sich zu behalten vermöge. Sehr zutreffend urteilte auch schon sehr frühzeitig Gersten [216], dass das den Tau bildende Wasser aus dem Boden hervorgetreten sei. Man sieht, die beiden Anschauungen, welche später um den Preis rangen, und zwischen denen man jetzt dadurch eine Konkordanz stiftet, dass man jede für in ihrer Art berechtigt erklärt, sind schon recht bald auf dem Plane erschienen. Allein die Gerstensche Hypothese konnte sich nicht halten, nachdem Wells [217] die durch Horner [218] auch den deutschen Fachmännern zugänglich gemachte, sehr plausible Theorie aufgestellt hatte, welche bis vor kurzem als die allein mögliche galt und selbst noch von Jamin [219] in diesem Sinne gefeiert wurde. Der Boden kühlt sich, wie wir wissen, durch nächtliche Ausstrahlung um so ausgiebiger ab, je weniger er — dies hatte bereits Pictet [220] bemerkt — von einer schützenden Wolkendecke hieran verhindert wird, und deshalb ereignet sich der sogenannte Taufall am meisten in mondhellen, klaren Nächten. Gesetzt also, die über dem Boden gelagerte Luft sei mit Wasserdampf gesättigt, so muss ein Austritt desselben durch Kondensation stattfinden, und die am Boden, an Metallgegenständen und noch häufiger an Pflanzenblättern sich zeigenden Tropfen sind eben das äusserlich sichtbare Zeichen des Kondensierungsaktes.

Niemand sollte leugnen, dass Tau in der beschriebenen Weise wirklich entstehen kann, denn die Theorie von Wells steht mit keinem physikalischen Gesetze in Widerspruch. Eine andere Frage jedoch ist es, ob nicht auch andere Möglichkeiten der Taubildung denkbar seien, und darauf kann die Antwort nur bejahend lauten. Sich auf Gersten berufend, behauptete nicht lange nach ihm Musschenbroek [221]: Ein grösserer Teil der Taumenge kommt von unten, als von oben. Und aus einer neueren, tief eingehenden Arbeit von Cantoni [222] ersehen wir, dass unter den älteren italienischen Physikern gar manche — Fusinieri, Melloni, Zantedeschi, in neuerer Zeit auch Chistoni — wieder an die Auffassung Gerstens angeknüpft hatten, wie denn auch Deluc [223], der den Pflanzentau auf hohen Bergen untersucht hatte, dessen Entstehung einer anderen Ursache als der Luftfeuchtigkeit zuschreiben wollte. Zu Ehren aber brachten die ältere Theorie mittelst ganz neuer Untersuchungen hauptsächlich Aitken [224] (S. 19) und Wollny [225], wobei anzumerken ist, dass auch die sonstigen Bedingungen der hier hauptsächlich massgebenden Bodenfeuchtigkeit — Exposition, Windrichtung, Pflanzendecke u. s. w. — von jenem verdienten Agrikulturphysiker klargestellt worden sind [226]. Ein grosser, ja nach Aitkens Meinung sogar der entschieden grössere Teil des Tauwassers entstammt dem Erdboden, wie denn zuweilen die Temperatur am Boden selbst 5 bis 10 Celsiusgrade höher als an den Spitzen der Grashalme gefunden ward. Eine gewisse Quantität kondensierten Wasserdampfes wird auch aus dem Pflanzenkörper selbst ausgeschieden. Wollnys vielfach variierte Beobachtungen und Versuche ergaben u. a., dass die dem Boden zugekehrte Blattseite stärkere Taubildung als die der Luft zugewandte aufwies. Auch Alfords [227] Temperaturmessungen in verschiedenen, jedoch immer kleinen Abständen von der Bodenfläche dienten zur Bekräftigung der besprochenen Lehre, welche R. Russell [228] sogar noch dahin erweiterte, dass selbst bei ganz trockenem Wetter der Tau grossenteils Wasserdampf sei, der nach vorhergegangener Absorption wieder von der Erde abgegeben werden musste, als die Ausstrahlung eine intensivere wurde. Mit einem Worte: Beide Theorien, jene, welche bloss Kondensation annimmt, und jene, welche auch dem Auftreten des vorher absorbiert gewesenen Wasserdampfes eine wichtige Rolle zuteilt, treffen in ihrer Art das Richtige, und im Einzelfalle ist zu prüfen, ob der Tau mehr der einen oder mehr der anderen Ursache entstammt.

Es braucht kaum gesagt zu werden, dass diese letztere Erklärung der Taubildung nichts gemein hat mit der bei Musschenbroek [229] erwähnten Meinung, der Tau sei eine blosse Ausschwitzung der in der Pflanze zirkulierenden Säfte, beziehungsweise der Erde. In letzterem Tau kämen ölige, salzige, erdige, metallische Bestandteile vor. Man machte sich eben spät erst ganz frei von der irrigen Ansicht, dass die als Mehl- und Honigtau bekannten Störungen des Pflanzenlebens doch mit echtem Tau etwas zusammenhingen. Dies ist aber nicht der Fall. Nach Muncke [230] hat ein gewisser Leche zuerst die Vermutung ausgesprochen, dass jene klebrigen Ueberzüge an Baumzweigen auf Insekten zurückzuführen seien. Das hat sich bestätigt, aber auch gewisse, der gefürchteten Peronospora ähnliche Pilze kommen als Verursacher solcher Pflanzenkrankheiten in Betracht. In monographischer Form hat R. Wolff [231] den Sachverhalt dargestellt.

b) **Reif.** Schon von alters her hatte man sich gewöhnt, zwischen Tau und Reif keinen Unterschied zu machen; Tau, der sich bei Temperaturen unter Null bildet, wird Reif genannt, so war die allgemeine Definition. Die schärfere Analyse der Gegenwart hat auch hier, wie im vorigen Falle, uns zu der Ueberzeugung verholfen, dass die übliche Definition zwar durchaus nicht falsch, nicht jedoch ausreichend ist.

Im XIV. Jahrhundert stellte die Naturencyklopädie des Konrad v. Megenberg (S. 14) einen ganz korrekten Satz auf [232]: „Der reif wirt auz der selbenlai dunst, darauz daz taw wirt, iedoch muoz diu kelten groezer seyn, diu den reifen macht, wan diu daz taw macht.“ Es war eigentlich erst Aitken [233], der sich mit dieser Deutung des weissen Ueberzuges, welchen wir in kühlen Frühlings- und Herbstnächten auf unseren Dächern liegen sehen, nicht zufrieden gab, sondern den

Vorgang schärfer zu analysieren bestrebt war. Wäre nämlich dieser letztere ein so ganz einfacher, wie es eben geschildert ward, so müsste die stärkste Reifbildung immer da sich zeigen, wo die Strahlung am grössten ist. In Wirklichkeit jedoch bevorzugt der Reif Stellen, zu denen der Wind ungehindert gelangen kann. Es wird daran erinnert, dass nach G. Kirchhoff und W. Ramsay die Dampfspannung des Eises kleiner ist als die des überkälteten Wassers von gleicher Temperatur; hat man somit unter sonst gleichen Umständen je eine Wasser- und Eisoberfläche in nächster Nachbarschaft, so geht der Dampf vom Wasser zum Eise über und nicht umgekehrt. In der Luft ist stets, falls eben überhaupt die Wärmeverhältnisse danach angethan sind, Wasser unter 0° vorhanden, und Nebel gefriert auch bei Frostwetter nicht. Die bewegte Luft gibt ihren Dampf an Eisteile ab, welche sich bereits durch Gefrieren des Tauwassers gebildet hatten, und darum wächst der Reif nach der Richtung hin, von welcher der Wind herkommt. Tau und Reif weichen darin ab, dass ersterer bei klarem, letzterer bei bedecktem Himmel günstigere Bedingungen für seine Entwickelung findet. Nebel verhindert Erdausstrahlung und Taufall, fördert aber das Wachstum des Reifes. Für das Anfangsstadium besteht mithin zwischen beiden Ausscheidungsformen der einzige Unterschied des Aggregatzustandes, aber späterhin erfordert die Reifbildung bewegte, die Taubildung ruhige Luft.

Die hier verwertete Thatsache, dass ruhiges Wasser mehrere Zentigrade unter Null tropfbar-flüssig bleiben kann, hat Fahrenheit zuerst wahrgenommen [234]. Er erkannte auch, dass dies bei Bewegungen im Wasser selbst und in der Umgebung nicht geschehen könne, und brachte durch eine leise Erschütterung dieses überkältete Wasser sofort zum Gefrieren.

c) **Rauhfrost.** Dem Reif nächst verwandt ist der Rauh- oder Haarfrost („Hoar-Frost“ der Engländer). Kämtz [235] sprach sich für die vollkommene Identität von Reif und Rauhfrost aus, allein auch diesmal bedingte die fortschreitende Forschung eine Einschränkung dieser These. Die Bildung des Rauhfrostes kann nämlich in molekulartheoretischem Sinne eine zwiefache sein: derselbe wächst entweder in Gemässheit eines Krystallisationsprozesses oder auch durch Aneinanderreihung kleiner Eispartikeln.

Assmanns mikroskopische Beobachtungen auf dem Brocken, deren oben Erwähnung geschah (S. 21), haben uns zuerst erkennen lassen, dass die Entstehung jener Eisfedern und Eisguirlanden, welche im Winter zumal den Nadelholzwäldern zum Schmucke gereichen, nicht immer ganz die gleiche ist. In manchen Fällen liess sich ein Anschiessen von Eiskrystallen, wie es erwartet wurde, nicht konstatieren, sondern es erstarrten die nicht verdunstenden Tröpfchen sofort zu kompakten, winzigen Eisklumpen. Straussenfederartige Gebilde, durch Zusammengefrieren kleiner Tropfen herangewachsen, liessen sich manchmal unter dem Mikroskope direkt beobachten. Assmann hat diese Beobachtungen nachmals fortgesetzt [236] und dann festgestellt, dass allerdings die Reiffedern häufig aus jenen sechseckigen Platten, welche wir auch als Komponenten der Schneesterne in §. 14 kennen lernen werden, sich zusammensetzen. „Reif und Rauhreif,“ so sagt derselbe, „sind nur verschiedene Modifikationen desselben Verdichtungsvorganges.“

Am besten macht man sich nach Ratzels Zeichnung [237] ein Bild von den Rauhreifformen, welche man gelegentlich an Pflanzen zu sehen in der Lage ist. Eben Ratzel hat auch das Auftreten des Rauhfrostes an Schnee- und Eisflächen näher verfolgt. Er macht darauf aufmerksam, dass man an Treibschollen auf Flüssen mitunter einen eigentümlichen, zonalen Wechsel des Aussehens und der Farbe konstatieren könne [238]; es ist der Rauhfrost, welcher sich ringförmig auf dem Treibeise angesetzt hat.

d) **Glatteis.** Die Natur dieses dünnen Eisüberzuges, welcher das Strassenpflaster zu sehr unbequemer Passage umgestalten kann, hat zuerst Mohr [239] richtig definiert. Die Beziehungen zwischen Glatteis und Rauhfrost sind jedenfalls als sehr innige anzuerkennen, doch

ist es fraglich, ob man beide Arten von Hydrometeoren vollständig zu identifizieren ein Recht hat.

Hierüber hat sich eine interessante Diskussion zwischen Schönrock und Köppen abgespielt [240]. Als deren Enderfolg möchten wir, in vollem Einklang mit Assmanns auf Autopsie beruhenden Schlüssen, eine gewisse Unterscheidung zwischen Rauhfrost und Glatteis bezeichnen. Handelt es sich um einen gegen den Wind hin fortschreitenden Krystallisationsprozess, so ist Rauhfrost gegeben, während Glatteis eine homogene Eisdecke von sehr geringer Dicke darstellt. Der absolut amorphe Charakter des Glatteises wird als dessen auszeichnendes Merkmal anerkannt werden müssen.

Die krystallinischen Eisbildungen, auf deren Studium wir soeben geführt worden sind, können uns auch noch unter einem anderen Gesichtspunkte beschäftigen. Wir meinen den dünnen Eisbelag, mit welchem sich im Winter die Fenster zu überziehen pflegen.

e) **Eisblumen an Fenstern.** Diese mineralische Vegetation hat zuerst Mairan [241] als ein wissenschaftlicher Betrachtung würdiges und fähiges Objekt anerkannt, und andere sind ihm gefolgt. Vogelsang hat hiefür, sowie auch für Rauhfrostbildungen die empfehlenswerte Bezeichnung Krystalliten in Vorschlag gebracht [241]. Von neueren Forschern hat zweifellos Prinz [242] diese Modifikation der Eiskrystalle am gründlichsten untersucht.

Mit dem Höhleneise, welches wir erst in Abt. VIII, Kap. III in Betracht ziehen können, bringt Munckes Artikel „Eis" [243] auch die Krystalliten in Verbindung, was natürlich bis zu einem gewissen Grade auch mit voller Berechtigung geschehen kann. Jene merkwürdigen Hohlkrystalle, welche Brun [244] in den Walliser Alpen, Grossmann und Lomas [245] in isländischen Eisgrotten kennen lernten, haben teilweise eine ganz analoge Gestalt und werden von den Krystalliten sogar auch an Grösse übertroffen, wie denn Prinz einmal einen Krystalliten von 3 cm Durchmesser gewahrte. Jene in Island gefundenen Exemplare gehören insofern unbedingt hierher, als sie der Erklärung ihrer Entdecker zufolge nicht durch einträufelndes Sickerwasser entstanden, sondern als eine Art Rauhfrostbildung anzusehen sind. Es gelang auch, in einem kalten Winter künstlich solche sechsseitige Haarfrostpyramiden zu erzeugen. Die eigentlichen Eisblumen sind nach Prinz stets prismatische Stäbchen, welche sich aber in der Regel derart unregelmässig durcheinander lagern, dass der charakteristische Winkel von 60° nur schwer herauszufinden ist. Die Formation des Eises folgt am Fenster durchgängig den gar nicht oder nur ganz schwach sichtbaren Streifen, welche durch das Reinigen des Glases entstanden waren. Sowie die Entfaltung der dendritischen, an Farrenkraut gemahnenden Zeichnungen eine kräftigere wird, tritt auch das hexagonale Prisma mehr hervor. Die dunkleren Flächen zwischen den Blüten erscheinen unter der Lupe als ein aus sechseckigen Lamellen bestehendes Mosaikmuster. Was für die Fensterblumen zutrifft, hat Prinz [246] auch für die Oberflächen stehender Gewässer bestätigt gefunden.

In diesem Punkte berühren sich seine Untersuchungen mit denjenigen von Emden [247]. Durch diese wurde nämlich selbst für das anscheinend jeder Einordnung in eine Norm widerstrebende Gletschereis das die Eisbildung überhaupt regelnde Krystallisationsgesetz als gültig erkannt. Wir werden in §. 14 dieses Gesetz wiederum ins Auge zu fassen haben.

§. 13. **Nebel und Wolken.** Wenn infolge von Herabsetzung der Temperatur die Ausscheidung des bisher unsichtbar gebliebenen Wasserdampfes in grösseren Tropfen sich zu vollziehen beginnt, so ballen

sich diese zu Nebeln und Wolken zusammen. Zwischen diesen beiden Hydrometeoren besteht ein Unterschied nur insofern, als man die Dampfagglomerate nahe am Erdboden Nebel, in grösserer Höhe aber Wolken zu nennen gewohnt ist. Schwaden sind die feuchten, weisslichen Nebel, welche zumal an Herbstabenden die Fluss- und Seeniederungen förmlich mit einem Leichentuche einhüllen. Ueber die Anteilnahme der Staubkerne an der Nebelbildung wurde das Erforderliche weiter oben (S. 22) beigebracht.

Die Tagesperiode der Nebelhäufigkeit hat im Binnenlande, wie jedermann weiss, ihr Maximum am Morgen, während an den Küsten die Mittagszeit bevorzugt erscheint, und die Jahresperiode ist durch ein Maximum im Winter ebenso wie durch ein Minimum im Hochsommer gekennzeichnet [248]. Auf dem Meere verhält es sich teilweise anders; so fällt über der Ostsee [249] je ein Maximum der Nebelfrequenz in den Herbst und Frühling, je ein Minimum in den Sommer und Winter (Februar). Anderwärts fehlt gerade über dem offenen Meere der Nebel; nach v. Jedina [250] hat an der Adria die Stadt Triest die meisten Nebel, und südlich von der Insel Lissa hören dieselben gänzlich auf. Als eigentliches meteorologisches Element fasste zuerst H. Meyer [251] den Nebel auf, indem er den Begriff der absoluten Nebelhäufigkeit und der wahrscheinlichen Nebeldauer einführte; die Präponderanz der Meeresküste belegt er durch die Thatsache, dass Hamburg durchschnittlich 130, Berlin nur 18 Nebeltage im Jahre aufweisen kann. Stets dann, wenn feuchte Winde über eine relativ kältere Strecke der Erdoberfläche hinstreichen, oder wenn umgekehrt die Oberflächentemperatur eines Gewässers höher als die Temperatur des umliegenden Festbodens ist, ist Anlass zum Aufsteigen von Nebeln gegeben [252]. Die für das arktische Nordamerika charakteristischen, ganz undurchdringlichen Polarnebel gehören in die erstgenannte, das Dampfen der Flüsse und Seen gehört, wie nicht minder das Rauchen der Berge, in die zweite Kategorie.

Hauptursache der Wolkenbildung ist der aufsteigende Luftstrom, der sich uns stets als unmittelbare Konsequenz besonders starker Erwärmung einer begrenzten Erdstelle zu erkennen gibt. Mit der Erhebung der Luft ist stets Ausdehnung und Abkühlung verbunden, und die untere Grenze der Wolke ist da zu suchen, wo die aufsteigende Luft den Taupunkt erreicht. Umgekehrt zergeht die in eine absteigende Strömung geratene Wolke an der nämlichen Grenze.

Ein recht deutlicher Beweis für die Richtigkeit dieser Theorie der Wolkenbildung wird gegeben durch den in Amerika zum öfteren bemerkten Umstand, dass Schilfbrände eine Rauchsäule lieferten, die unter Berührung mit feuchtem Winde sich geradezu in eine Regenwolke verwandelte [253]. Reye hat [254], mit Bezugnahme auf amerikanische Autoritäten, mehrere solche Fälle erörtert. In jeder einzelnen Wolke gehen Vertikalbewegungen nach der einen und anderen Richtung ununterbrochen nebeneinander her; eine Wolke ist zu keiner Zeit etwas Stabiles, sondern immer in Umbildung und Erneuerung begriffen, wie dies Köppen [255] an dem besonderen Beispiele der Haufenwolken des näheren ausgeführt hat. Auch brauchen solche Wolkenballen nicht durch Auflösung nach abwärts sich dem Auge zu entziehen, sondern sie können auch, indem ihre Teile nach oben getrieben werden, sich in zerfaserte Wolkenschleier verwandeln; eine Metamorphose, welche Möller [256], auf photographische Aufnahmen sich stützend, eingehend analysiert hat.

Eine sehr regelmässig wiederkehrende Gelegenheit für die Kondensation bietet sich der an dem Abhange eines Berges in die Höhe steigenden, mit Wasserdampf beladenen Luft dar. So kommt es, dass sich über dem Scheitel und auch an den Flanken Wolken von oft typischer Gestalt zeigen, welche die Umwohner sich als Wetterzeichen zurechtlegen. Bekannt ist die Wetterregel des Vierwaldstätter-Sees: „Trägt der Pilatus einen Hut, so wird das Wetter gut; trägt er einen Kragen, darf man's noch wagen; trägt er aber einen

Degen, so gibt's Regen." Aehnliches behaupten die Bewohner des Karstes von dem isolierten Aussichtsberge Nanos, und auch der Hesselberg im südlichen Mittelfranken gilt den Umwohnern als Wetterverkündiger [257]. Die Kuppe des hohen Vulkanes von Tenerife (I, S. 408) umgibt zu Zeiten eine Kugelkalotte von Wolken, der man, im Gegensatze zum Pilatus, und nach v. Rebeur-Paschwitz [258] nicht ohne Grund, nachsagt, sie trage Sturm und Unwetter in sich. Ein Wolkengebilde von ganz eigenartigem Charakter ist das zerlappte „Tafeltuch" oberhalb des Tafelberges nächst der Kapstadt, zu dem sich mitunter über dem Quarnero-Golfe Analoga nachweisen lassen [259]; den Erklärungen von Arnott und Pöppig ist zu entnehmen, dass der von Südost kommende, über weite ozeanische Flächen hinweggegangene Passatwind an den oben scharf horizontal abgeschnittenen Gebirgszug der Tafel-Bay anprallt und seines Wasserdampfes sich entledigt; so erneuert sich fortwährend der weisse Dunst, der als Fahne über der Bergschneide steht, während beim Niedersteigen an der anderen Seite die warme Luft eine rasche Auflösung der Dunstmassen herbeiführt. Ganz besonders merkwürdig und noch nicht befriedigend aufgeklärt sind auch die zwei- bis dreifachen Wolkenkappen des Fuji-no-yama, von denen Naumann [260] berichtet, und welche in einer Bilderserie des japanischen Malers Skinga (um 1820) das Wahrzeichen jenes heiligen Berges (I, S. 407) abgeben.

Die Wolkenfärbung ist eine sehr verschiedene, wenn schon natürlich alle möglichen Schattierungen von Weiss und Grau den Ton angeben. Unmittelbar vor Gewittern sind grünliche Farbentöne nichts ganz Seltenes. Tiefschwarze Wolken sind bei Gewitterstimmung oft genug wahrzunehmen, aber wenn sie bei sonst hellem Himmel sich zeigen, so liegt es nahe, mit v. Friesenhof [261] an Rauchmassen zu denken, welche von ihrem Ursprungsorte durch den Wind in weite Fernen fortgeführt wurden.

Um die Grösse der Bewölkung zu schätzen, bedient man sich des einfachen Auskunftsmittels, den wolkenlosen Himmel durch 0 und das total bedeckte Firmament durch 10 zu bezeichnen. Die ganze Zahl n (> 0, < 10) gibt dann an, dass n Zehntel des Himmelsgewölbes durch Wolken eingenommen sind. Wann sich Wolken und Himmelsbläue gerade die Wage halten, so ist die Bewölkungsgrösse gleich 5 zu setzen.

Beispiele hiefür gehören in die Klimatologie. Nur ein Ausdruck für die mittlere Bewölkung eines Zeitraumes, wie ihn Kremser [262] hergeleitet hat, möge schon hier eine Stelle finden. Heitere, trübe und gemischt-bewölkte Tage sollen unter n Tagen resp. mit den Anzahlen k, t, g vertreten, und es sollen zugleich die entsprechenden mittleren Bewölkungen dieser drei Abteilungen von Tagen durch die Zahlen $\varkappa$, τ, γ gegeben sein. Dann besteht für die mittlere Bewölkung b der n tägigen Periode die folgende Gleichung:

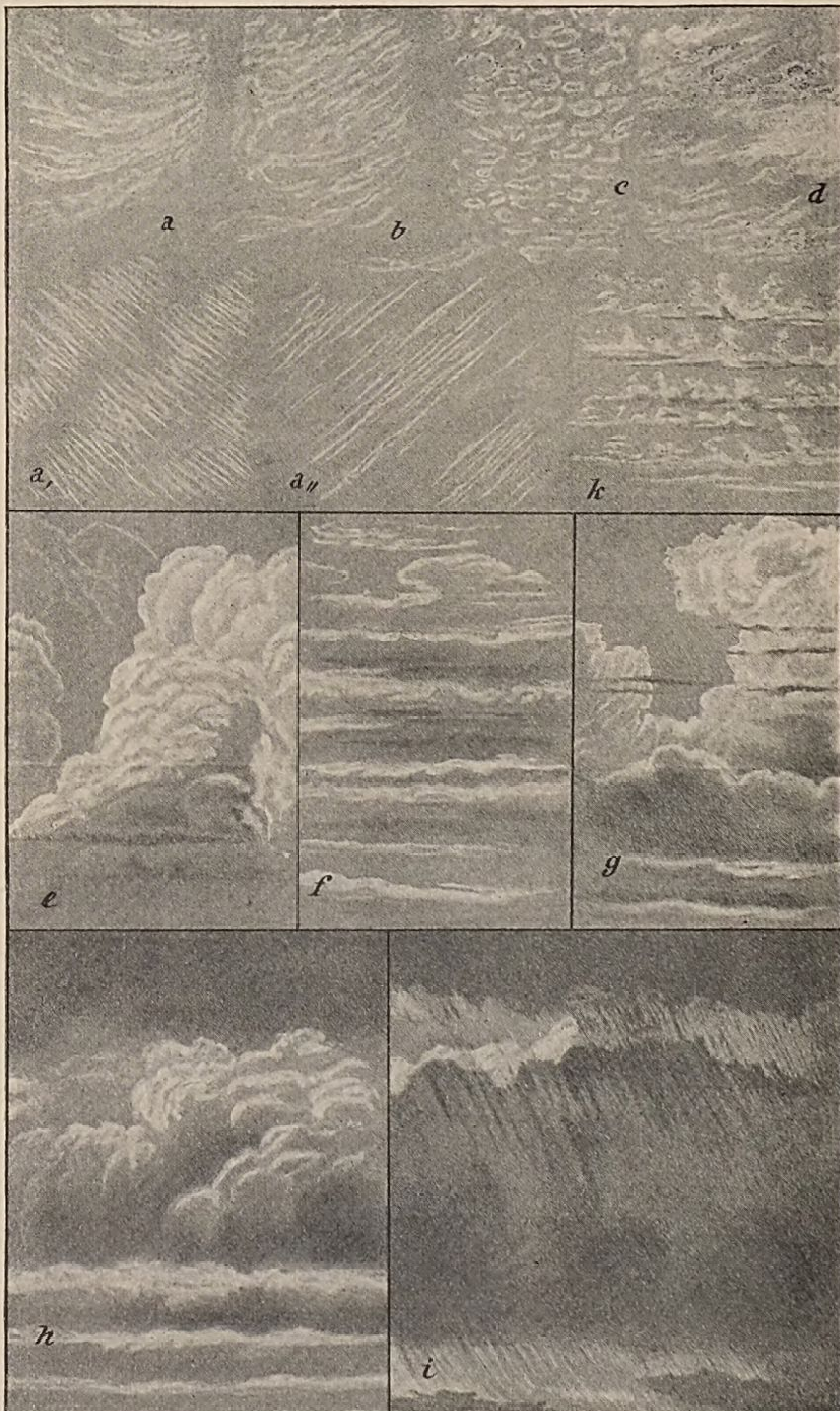
$$b = \gamma + \frac{k}{n} (\varkappa - \gamma) + \frac{t}{n} (\tau - \gamma).$$

Die tägliche Periode der Bewölkung ist von der Oertlichkeit in hohem Grade abhängig und spricht sich nur darin unzweideutig aus, dass fast durchweg die Wolkenmenge gegen Abend dem Minimum zustrebt [263]: „Herbst und Winter haben im Tief- und Hügellande Mitteleuropas die grösste Bewölkung, die geringste Frühjahr und Sommer; dagegen auf den Gipfeln hoher Berge und in den höheren Gebirgsthälern ist der Winter heiter, aber der Herbst hat die grössten Wolkenmengen." — Speziell für Deutschland liegt eine dankenswerte Bearbeitung der Bewölkungsfrage von Elfert vor [264], aus der z. B. hervorgeht, dass im Winter Swinemünde besonders viele trübe, der Hohe Peissenberg besonders viele heitere Tage zu verzeichnen hat. Aus Meldes Zusammenstellung [265] für Nordhessen ist zu schliessen, dass dortselbst nur etwa 13 absolut wolkenlose Tage in vieljährigem Mittel auf das Beobachtungsjahr entfallen.

Nunmehr stehen wir vor einer neuen und wichtigeren Frage der Wolkenmeteorologie: Wie kann man der ungeheuren Vielgestaltigkeit dieser Luftgebilde feste, für jedermann ver-

ständliche Einteilungsgrundsätze abgewinnen? Leicht ist dies jedenfalls nicht, denn einer unserer ersten Forscher auf diesem

Fig. 2.



Spezialgebiete, Cl. Ley, that den wenig ermunternden Ausspruch [266]: „Die Wolkenbeobachtung ist in grossem Masse eine nicht mitteilbare Kunst.“ Gleichwohl brachte es der englische Physiker L. Howard zu Anfang des XIX. Jahrhunderts dahin [267], eine einheitliche Wolkenterminologie zu schaffen, welche schon zu ihrer Zeit allseitigen Beifall fand und auch seitdem, so zahlreich die Reformbestrebungen auch gewesen sind, als unerschütterliche Grundlage für alle Versuche dieser Art gedient hat. Howard war es nicht allein um das sozusagen morphographische Element zu thun, sondern er ging bereits darauf aus, dem Wolkenstudium Gesetze allgemeinerer atmosphärologischer Natur abzulauschen, so wie man aus den Gesichtszügen und dem Mienenspiele eines Menschen auf dessen Charakter und Stimmung zu schliessen veranlasst sei. Die Howardsche Einteilung wird durch das Tableau der Fig. 2 verdeutlicht. In a, a,, a,, und b haben wir die Cirrus- oder Federwolken (Ci) vor uns, lockere Gebilde, welche nach Howards Ansicht eines Wachstums nach allen Seiten hin fähig sind und, wie man damals schon wusste, in grosser Höhe schweben. Bei e erscheint der Kumulus, die Haufenwolke (Cu) des Sommers, bei f die Stratus- oder Schichtwolke (Str), bei welcher die Horizontaldimension vorwiegt, und welche sich zumeist gleich an den Gesichtskreis selbst anschliesst. Dies sind die drei Grundformen, welche durch verschiedene Zwischenformen untereinander in Verbindung gesetzt werden. Als solche verdienen vor allem Cirrokumulus (Ci-Cu; in c) und Cirrostratus (Ci-Str; in d) Beachtung. Als zusammengesetzte Formen werden, je nachdem die Tendenz zur Ballung oder zur Schichtbildung die vorherrschende ist, Kumulostratus (Cu-Str; in g) und Stratokumulus (Str-Cu; in h) unterschieden. Endlich kann durch Kombination dreier Elementarformen auch ein Cirrokumulostratus (Ci-Cu-Str; in k) entstehen; für diese Bildung ist aber der Name Nimbus (Ni) oder Regenwolke der herrschende; ursprünglich ist dies nach Howard ein dunkles, horizontal gestrecktes Wolkenband, welches sich nach oben in Cirren auflöst und seitlich von Kumuluswolken gewissermassen angegriffen wird, bis mit einem Rucke die Kondensation allenthalben eintritt und der Regen sich ergiesst, so wie dies i in Fig. 2 nach Ley zur Anschauung bringt. Es verdient notiert zu werden, dass die moderne Meteorologie ein paar Howardsche Definitionen in einem Sinne gebraucht, welcher sich nicht ganz mit den Absichten des Autors deckt.

Jene Umgestaltungen, welche Klassifikation und Nomenklatur der Wolken seit Howard erfahren, sind von Clayton [266] übersichtlich dargestellt worden. Schon Goethe, der als einer der ersten den hohen Wert der aus England herübergekommenen Neuerung voll anerkannte [267], glaubte die Form Paries (Wand) als eine völlig undifferentiierte Ansammlung von Stratusbildungen dem Howardschen Schema beifügen zu müssen [268]. Im wesentlichen verblieb man dabei, die äusseren Kennzeichen zur Richtschnur zu nehmen und allenfalls noch die Höhe über dem Boden mitzuberücksichtigen; eine mehr die dynamischen Motive verwertende Einteilung, wie diejenige von Möller [269] — aktive, passive und indifferente Wolken, letztere horizontaler Luftströmung entsprechend — wird vielleicht in der Zukunft mit Glück durchzuführen sein. Umfassender haben die Klassifikation und Beobachtung der Wolken Poëy [270], Hildebrandsson [271] und Weilbach [272] betrieben, doch hat nur für Ley, dessen Arbeiten wir bald näher kennen lernen wollen, dieser Zweig der Meteorologie geradezu die Lebensarbeit gebildet. Am meisten forderten die proteusartigen Cirren zu solcher Thätigkeit heraus, denen auch Weihrauchs Abänderungsvorschläge [273]

zunächst näher treten; Howards Schema wird im allgemeinen gebilligt, indem nur noch die Aufnahme von Poëys Cirropalium (Federwolkenmantel) als wünschenswert bezeichnet wird. Die von Ley [274] neu unterschiedenen Formen sind die folgenden: Gewöhnlicher Cirrus oder Schweifwolke („Curl-Cloud"), Cirrofilum oder Drahtwolke („Gossamer-Cloud"), Cirrovelum oder Schleierwolke („Veil-Cloud"), Cirronebula oder Federwolkennebel („Veil-Haze") und Cirrogranum oder Schäfchenwolke („Granular-Curl-Cloud"). Ley gab auch sofort fünf für die Wettertelegraphie geeignete Zahlenskalen zur Kenntlichmachung der Formen, Menge, Bewegungsrichtung, Bewegungsgeschwindigkeit und Mächtigkeit der Wolken an. Die Cirruswolken müssen nach dem, was wir über die Wärmeverhältnisse wissen, nicht aus Wasserkugeln, sondern aus Eisnadeln zusammengesetzt sein. Speziell für sein Cirrofilum nimmt Ley [275], hierin allerdings mit Abercromby nicht ganz übereinstimmend [276], an, dass es als Eisnadelschicht aufzufassen sei; dieselbe bilde durchweg den Aussenrand der Regengebiete, welche vor einer fortschreitenden barometrischen Depression herzugehen pflegen, so dass folglich die Faserung dieser drahtähnlich ausgesponnenen Wolken (s. o.) geradezu ein prognostisches Hilfsmittel darbiete. Ueber eine deutsche Namengebung für die Cirrusformen haben sich zuerst H. J. Klein und Köppen geeinigt [277]. Vincent betont [278], dass, was auch schon bei Howard durchblickt, der äussere Anblick allein nicht zur erschöpfenden Rubrizierung ausreiche, dass vielmehr auch auf die meteorologisch-optischen Phänomene Bedacht zu nehmen sei.

Für die Cirruswolken kann die Systematik Leys, deren Grundzüge auch Köppen [279] auseinandersetzt, einstweilen als normativ betrachtet werden. Für alle Wolken war die neue Terminologie von Abercromby [280] berechnet, welche aufzustellen Ley [281] allerdings für ein etwas verfrühtes Unternehmen hielt. Die zehn — durch Photogramme festgelegten — Normalformen tragen die nachstehenden Namen: Cirrus, Kumulus, Stratus, Nimbus, Kumulonimbus, Cirrokumulus, Kumulocirrus, Cirrostratus, Stratocirrus, Stratokumulus. In neuester Zeit endlich ist eine mehr zusammenfassende Arbeit von Ley erschienen [282], leider nicht von ihm selbst redigiert. Die genetische Unterscheidung der Formen soll hier ganz an Stelle der morphographischen treten. Die Strahlungswolken sind wesentlich unsere Nebel, welche sich nur sehr wenig über den Boden erheben (S. 28). Vermischungswolken („Interfret") entstehen an der Grenzfläche zweier Luftströme von verschiedener Geschwindigkeit, Temperatur und Feuchtigkeit; hieher gehören ausser „Nubis informis" fünf besonders charakterisierte Stratusformen. Die Inversionswolken bilden sich durch einfache Kondensation des von aufsteigenden Strömen mitgebrachten Wasserdampfes; es sind wesentlich Kumuli und Nimbi und deren wechselseitige Kombinationen. Absteigender Bewegung endlich gehören die Inklinationswolken zu, deren Bestandteile ganz langsam fallen; es sind dies im einzelnen: Nubis fulgens, Cirrus, Cirrofilum, Cirrovelum und Cirromacula (s. o.). Diesen Kategorien würde sich gewiss auch Davis [283] „Feston Cloud" (auch „Pocky-Cloud") anpassen lassen. Es wird ja freilich, zumal angesichts der oft rapiden Schnelligkeit im Auftreten und Verschwinden von Cirruswölkchen [284], die grösste Uebung nötig sein, um sich rasch entscheiden zu können, welcher Rubrik irgend ein vorkommendes Wolkenindividuum zuzuteilen sei, und nur Wolkenforscher von Fach können mit diesen feineren Distinktionen erfolgreich arbeiten, während allerdings bei Anwendung solcher Kriterien manche Frage, wie z. B. die von Láska [285] angeregte über die Periodizität der Polarbanden (I, S. 593) leichter zur Entscheidung zu bringen ist.

Der meteorologische Praktiker ist jedoch im allgemeinen nicht in der Lage, die von ihm gemachten Wahrnehmungen so scharf präzisieren zu können, wie dies im Anschluss an Ley erfordert würde. Für ersteren sind vielmehr die konventionellen Festsetzungen bestimmt, über welche sich die Meteorologen aller Länder auf ihren Kongressen geeinigt haben. Wir geben nachstehend dieses Schema wieder [286], welches durch die Aufnahme der Höhe unter die bestimmenden Kennzeichen die Howardsche Liste vervollkommnet und doch nicht allzuschwer mit wissenschaftlichem Gepäcke belastet hat. Dass die Auswahl eine sachdienliche war, ergibt

sich aus dem Umstande [287], dass Hildebrandsson jedem Typus der internationalen Uebereinkunft einen Typus von Ley als adäquat zuzuordnen vermocht hat.

Die offizielle Tabelle hat folgende Gestalt:

A. Höchste Wolken, Höhe 9000 m im Mittel.
- a) Cirrus, Federwolke, zart und weiss auf blauem Grunde.
- b) Cirrostratus, Schleierwolke, oft diffus (Cirrusdunst).

B. Mittelhohe Wolken, Höhe 3000—7000 m.
- a) { α) Cirrokumulus, Schäfchen- oder Flockenwolke im engeren Sinne.
 β) Altokumulus oder Kumulocirrus, gröber gefügt und schattiert.
- b) Altostratus oder Stratocirrus, dichterer, grauer oder bläulicher Schleier.

C. Niedrige Wolken, Höhe 1000—2000 m und darüber.
- a) Stratokumulus, grosse und wulstartige Ballen, im Winter den Himmel ganz bedeckend.
- b) Nimbus, wie bei Howard die eigentliche Regenwolke, formlos und zerrissen.

D. Wolken des aufsteigenden Luftstromes.
- a) Kumulus, etwa zwischen 1400 und 1800 m schwebend, Rundkuppeln auf horizontaler Basis.
- b) Kumulonimbus, zwischen 1400 und 5000 m sich ausdehnend, bergartige Massen.

E. Stratus, horizontales, gleichmässig gefügtes Wolkenlager von nicht bedeutender Dichte.

Die treue Abbildung der einzelnen Formen ist eine sehr schwierige Sache. Weder Landschaftsmalerei, noch Photographie genügen vollauf dem, was der Blick des gewiegten Wolkenkenners sieht und unterscheidet, allein für die gewöhnlichen Zwecke, zumal für die des Seemannes, bietet die moderne Lichtbildkunst doch die wertvollste Hilfe. Natürlich wurden derselben, wie dies u. a. aus der Schrift von Neuhauss [288] ersehen werden kann, auch ganz neue und schwierige Aufgaben gestellt. Farbenempfindliche Platten sollen z. B. lediglich für Cirren angewandt werden. Riggenbach, der sich sehr gründlich mit Wolkenphotographie beschäftigt hat [289], gibt den Rat, das Negativ, wenn eine Cirruswolke aufgenommen worden war, zuerst in Sublimatlösung von 1½% und hierauf in Natriumsulfantimoniat zu tauchen, damit die Wolke dunkel auf hellem Grund hervortrete. Der blaue Himmel wirkt eben aktinisch (s. u. in Kap. III) fast ebenso stark auf die Silbersalze der Platte, wie das weisse Wolkenlicht, und dies erschwert sehr die Aufnahme, weswegen man wohl thut, das polarisierte Himmelslicht durch Einschiebung einer Obsidianplatte (I, S. 387) auszulöschen.

Durch die vereinigten Bemühungen von Hildebrandsson, Neumayer und Köppen ist 1889 zu Hamburg ein Wolkenatlas erschienen, über dessen Entstehung der erstgenannte Auskunft gibt [290]. Für die wissenschaftliche Wolkenkunde war damit ein fester Anhalt gegeben. Den Wünschen eines grösseren Publikums aber kam der handliche und instruktive Atlas von Singer [291] entgegen, der alle Grundformen nach guten Photogrammen vorführt; die Cirrusformen wurden auf Eosinplatten möglichst deutlich abgebildet. Was dieses Hilfsmittel für die Deutschen ist, suchte seinen italienischen Landsleuten Manucci [292] in Rom zu verschaffen.

Wir haben erfahren, dass man bei der Charakteristik der Wolken auch auf deren relative Höhe Rücksicht nimmt, und damit drängt sich die Frage auf: Wie kann man die kürzeste Entfernung einer Wolke — oder, richtiger gesagt, eines bestimmten Wolkenpunktes — vom Erdboden ermitteln? Gestreift wurde diese Aufgabe schon in §. 4, aber nunmehr erheischt dieselbe eine systematische Behandlung. Wir können sagen, dass, wenn wir von besonderen Fällen abstehen, hier die gleichen Regeln der

trigonometrischen Höhenmessung platzgreifen, mit welchen wir es bereits bei der Höhenbestimmung der Meteore (I, S. 89) und Polarlichter (I, S. 593) zu thun gehabt haben.

Als einen Ausnahmefall haben wir es zu betrachten, wenn sich zufällig einmal eine Gewitterwolke tief unter den Füssen des Beobachters befand, wie dies wohl im Gebirge vorkommt; dann kann man, wie Knop zeigte [293], für die Höhe auch ohne Instrumente einen leidlichen Werth schätzungsweise erhalten. Gelingt es ferner zwei in verschiedener Höhe stehenden Beobachtern, gleichzeitig die Winkelgeschwindigkeit eines Wolkenzuges zu bestimmen, so ist damit nach Richter [294] auch eine Höhenbestimmung erbracht. Das Prinzip der Distanzmessung aus einem Stande kann in geeigneten Fällen ebenfalls zur Verwendung kommen und, wie Kaysers Danziger Messungen [295] lehren, gute Früchte tragen. Es gewährt den Vorteil, nur einen Beobachter notwendig zu machen. Als derjenige, welcher zuerst mathematische Exaktheit in dieses Gebiet hineinzutragen bestrebt war, dürfte Stevin zu nennen sein, der, vom Paralellismus der Sonnenstrahlen ausgehend, die Bewegungsgeschwindigkeit

Fig. 3.

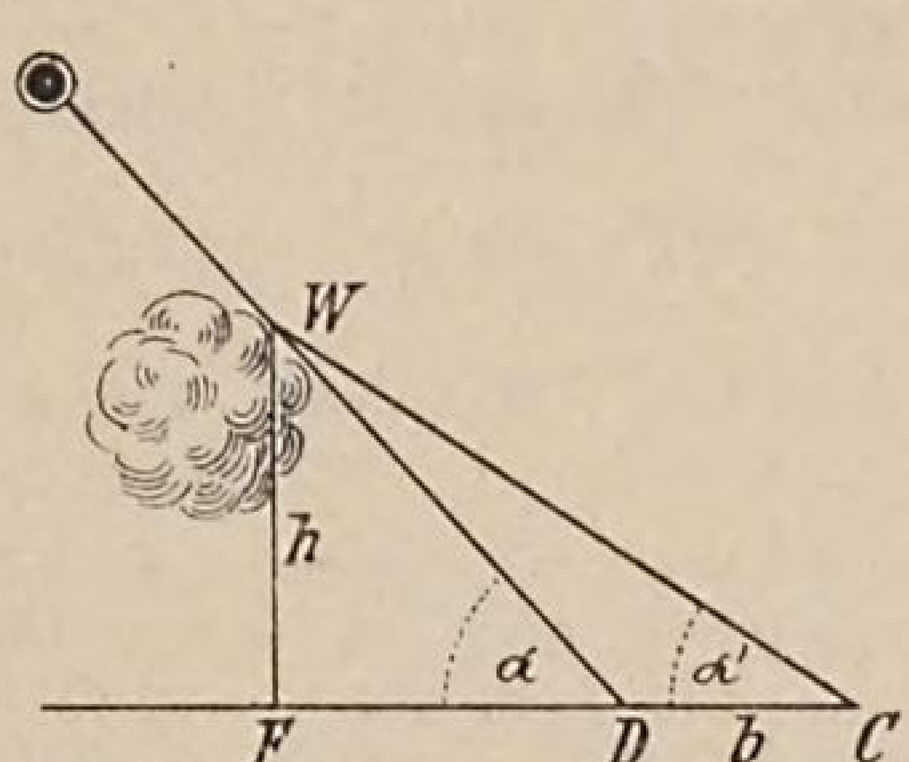
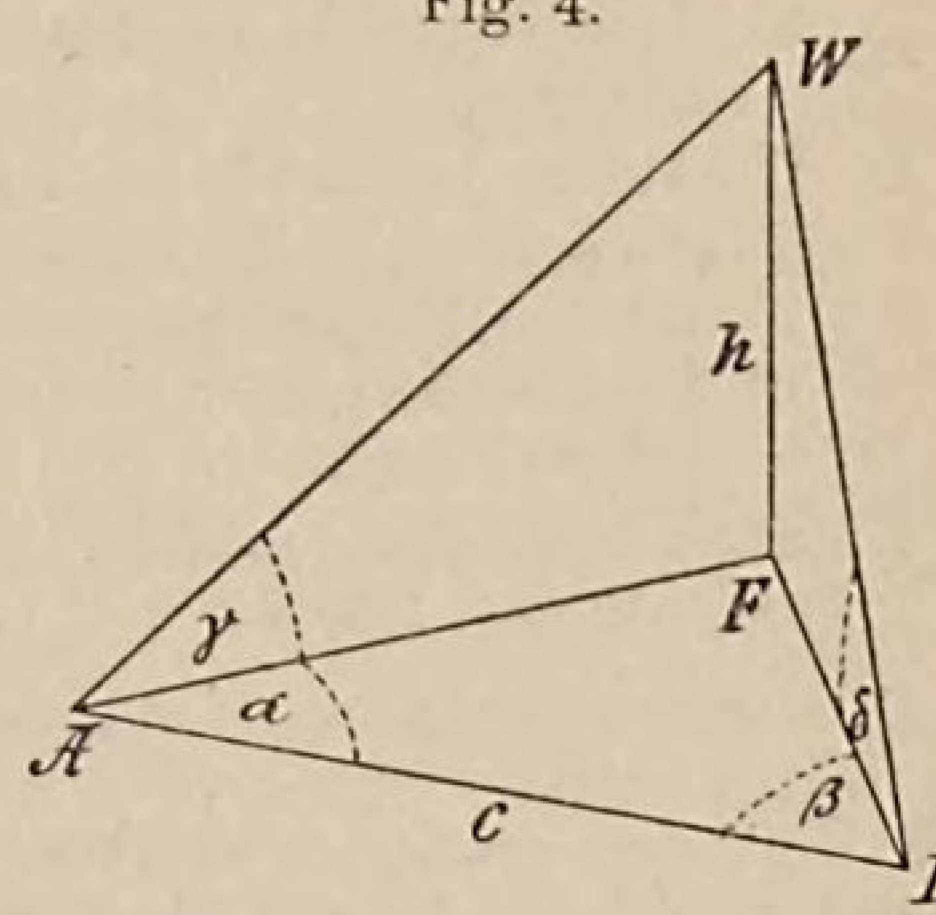


Fig. 4.



des Wolkenschattens auf der Erde mass und daraus sowohl die Höhe als auch die Eigengeschwindigkeit der Wolke zu berechnen suchte [296]. Ein demjenigen von Prestel (s. u.) wesentlich ähnliches Verfahren gab auch Kepler an [297]. Jakob Bernoulli griff zu dem Ende auf das Alhazensche Problem (S. 8) zurück [298], und Grunert stellte [299] die zur Lösung dienenden expliziten Formeln auf, indem er zugleich dem Einflusse der terrestrischen Strahlenbrechung Rechnung trug. Der isolierte Beobachter macht am besten von der einfachen Methode Prestels [300] Gebrauch, welche allerdings eine schattenwerfende Wolke und genaue Kenntnis der Oertlichkeit zur Voraussetzung hat. Wenn W (Fig. 3) seinen Schatten nach D wirft, während der Beobachter sich in C befindet, so kann letzterer mittelst seines Winkelmessinstrumentes $\sphericalangle DCW = \alpha'$ ablesen, während der Höhenwinkel α durch die Beobachtungszeit gegeben ist. Die Entfernung $CD = b$ bestimmt der Ortskundige durch Zuziehung der Spezialkarte. Die Höhe $WF = h$ des Dreiecks CDW ist dann leicht zu finden, weil man die Grundlinie und die beiden ihr anliegenden Winkel kennt. So kann

$$h = b \sin \alpha \sin \alpha' : \sin (\alpha - \alpha')$$

unmittelbar berechnet werden.

Umfassendere und auch genauere Höhenmessungen können jedoch nur durch das Zusammenwirken zweier möglichst distanter Beobachter gewonnen werden. Dieselben stellen sich an den Endpunkten einer genau bekannten Grundlinie auf und messen, indem sie einen vorbestimmten Punkt anvisieren, die Azimute und Höhenwinkel. Wir führen nachstehend die betreffenden Formeln an, die freilich noch auf Refraktion und andere Fehlerquellen zu korrigieren wären.

AB (Fig. 4) $= c$ sei die horizontale Basis, $WF = h$ die kürzeste Entfernung des Wolkenpunktes F von der Horizontalebene, welcher AB angehört. Dann sollen

die Horizontalwinkel $\sphericalangle FAB = \alpha$ und $\sphericalangle FBA = \beta$, sowie die Elevationswinkel $\sphericalangle WAF = \gamma$ und $\sphericalangle WBF = \delta$ als bekannt angenommen werden. Und nun ist

$$h = \frac{c \sin \beta \operatorname{tang} \gamma}{\sin (\alpha + \beta)} = \frac{c \sin \alpha \operatorname{tang} \delta}{\sin (\alpha + \beta)}.$$

Wie man sieht, lagen zu viele Grössen, nämlich fünf vor, während vier ausreichend gewesen wären, und deshalb ist eine Kontrolle ermöglicht. Zwischen den vier Winkeln α, β, γ, δ besteht eine Bedingungsgleichung, welcher man die folgende Form erteilen kann:

$$\sin \beta \operatorname{tang} \gamma - \sin \alpha \operatorname{tang} \delta = 0.$$

Gesetzt, die Punkte A und B lägen nicht in der nämlichen Horizontalebene, sondern d wäre der Abstand ihrer jeweiligen Niveauflächen, so würde nach Ekholm [301] an die Stelle dieser Bedingungsgleichung die folgende treten:

$$\sin \beta \operatorname{tang} \gamma - \sin \alpha \operatorname{tang} \delta = \frac{d}{c} \sin (\alpha - \beta).$$

Die ersten Ansätze zu dieser Art der Höhenmessung von Wolken lassen sich bei Riccioli nachweisen; über die mathematische Seite des Höhenmessungsverfahrens orientieren denjenigen, der sich selbst in der Sache versuchen will, einige Aufsätze von Jesse [302]. In grossem Massstabe gingen im gleichen Sinne vor die beiden schwedischen Meteorologen Ekholm und Hagström, deren Arbeit [303] für unser Wissen von den Wolkenhöhen grundlegend geworden ist. Statt des im konkreten Falle minder geeigneten Theodoliten wurden zwei Altazimutinstrumente angewendet, deren Tubus statt des Objektives zwei rechtwinkelige Kupferdrähte für scharfe Einstellung besass. Der Fernsprecher gewährte die Möglichkeit eindeutiger Fixierung des Punktes, welchen beide Beobachter ins Auge zu fassen hatten. Um einen solchen Punkt sicher zu erhalten, hat man wohl auch daran gedacht, ein Lichtbild durch einen Reflektor auf der Wolke zu erzeugen, und von Clayton und Ferguson ist statt dessen angeraten worden [304], die natürliche Beleuchtung der Wolken durch das von menschlichen Wohnsitzen ausstrahlende Licht zu verwerten. Auch für das Altazimut ist neuerdings im Wolkenäquatoreal ein Ersatz vorgeschlagen worden [305], mittelst dessen der aus der Erdkrümmung resultierende Fehler sich leichter beseitigen lassen soll.

Die Bedeutung der Photographie für die Wolkenkunde ist unter dem beschreibenden Gesichtspunkte von uns gewürdigt worden. Man kann sich auf diese Kunst aber auch zu Zwecken exakter Messung beziehen, wie dies bei uns zuerst durch Feussner [306] und Zenker [307] angeregt worden ist. Die eigentliche Photogrammetrie, als ein selbständiger Teil der praktischen Geometrie, war damals noch nicht ausgebildet (vgl. I, S. 305 ff.), aber seitdem hat sich auch diese Disziplin in den Dienst der Wolkenforschung gestellt.

Es kommt selbstverständlich im Interesse grösstmöglicher Exaktheit darauf an, Stellen der Wolke ausfindig zu machen, denen eine möglichst grosse Parallaxe zukommt; Vorschriften zu diesem Behufe rühren von Ekholm [308] her. Das entsprechende Beobachtungs- und Rechnungsverfahren schildert eingehend Åkerblom [309], und Olson [310] will Tafeln berechnet wissen, durch welche Theodolit und Aequatoreal gleichmässig für die photogrammetrische Höhenmessung geschickt gemacht werden sollen. Pollack empfiehlt [311] als ein besonders geeignetes Messwerkzeug den Phototheodoliten der Firma Müller und Lechner in Wien. Endlich ist noch für solche, die tiefer eindringen wollen, die zusammenfassende Monographie von Koppe [312] hervorzuheben. Dadurch, dass die Höhen bestimmt werden, ist, wenn man noch das Azimut der Bewegungsrichtung kennt, auch die Ermittelung der Geschwindigkeit des Wolkenzuges vorbereitet, doch existieren hiefür auch eigene instrumentelle Methoden, wegen deren auf das nächste Kapitel zu verweisen ist.

Die Höhen, innerhalb deren die Wolken schweben, sind sehr verschieden, wie dies die Uebersicht über die internationale Nomenklatur darthun konnte. Wenn wir nachstehend einige Zahlen mitteilen, so geschieht dies nur deshalb, weil dieselben als sehr gut verbürgt gelten können. Von gewissen Maximalhöhen war schon in §. 4 die Rede.

Pouillets Angabe [313], er habe Wolken von 12300 m Höhe gemessen, stand früher ziemlich allein; heute aber wissen wir, dass es noch in viel grösserer Entfernung von der Erdoberfläche wirkliche Wolken gibt. Dunér fand [314], mit Mohn übereinstimmend, für gewisse im Perlmutterglanze schimmernde Wölkchen Höhen bis zu 38 km, und Kassner [315] hält dafür, dass man zweierlei Gattungen dieser noch rätselhaften Gebilde zu scheiden habe: tief schwebende von 3—10 km Höhe und hoch schwebende von 20—150 km Höhe. — Kumuluswolken schweben erfahrungsgemäss (S. 33) nicht sehr hoch, aber einmal mass doch Plumandon vom Gipfel des Puy de Dôme aus einen Kumulusscheitel, der sich mehr denn 10 km über dem Boden erhob [316]. Die Basis einer Gewitterwolke fand Riggenbach [317] mittelst des Photogrammes 2800 m hoch. — Messungen auf Spitzbergen ergaben nach Ekholm [318], dass dort die Cirren zwischen 5,7 und 8,9 km Höhe schwebten; dieser Betrag ist weit niedriger, als er zumeist in unseren Breiten gefunden wird. Erwähnungswert sind auch die durch Hagström und Falk im schwedischen Hochlande ermittelten Zahlen [319]; die mittlere Höhe belief sich für Stratus auf 998, für Nimbus auf 1664, für Kumulusgipfel auf 2181, für Kumulusbasen auf 1401, für Kumulostratus auf 2504, für Stratokumulus auf 1788, für Altokumulus auf 2744—4562, für Cirrokumulus auf 6337, für Cirrus auf 8271 m.

Die Subtraktion der für Krone und Grundfläche gefundenen Höhenwerte liefert die Dicke oder Mächtigkeit der Wolke. Bei den erwähnten schwedischen Kumuluswolken betrug somit die Dicke im Mittel 780 m. Der nächste Paragraph wird uns mit der Thatsache bekannt machen, dass diese Grössen nicht bedeutungslos für die Art der Niederschlagsbildung sind.

§. 14. **Regen-, Schnee- und Eisfall.** Die Lehre von den Wolken ist im vorigen Paragraphen so weit geführt worden, als dies ohne spezielles Eingehen auf die aus den Wolken kommenden Niederschläge möglich war. Die genetischen Fragen, zu den schwierigsten der neueren Meteorologie gehörig, können nur dann erfolgreich in Angriff genommen werden, wenn man gleichzeitig auch den in der Wolke und namentlich an ihren Grenzen sich abspielenden Kondensationsvorgängen Beachtung schenkt. Die Bedingungen, welche eine Verdichtung feuchter Luft und damit Niederschlagsbildung begünstigen, hat v. Bezold [320] zum Gegenstande einer besonderen Untersuchung gemacht.

Die oben (S. 28) bereits als eines der wichtigsten Motive für die Entstehung der Nebel und Wolken bezeichnete Mischung zweier Luftströmungen von abweichendem physikalischem Verhalten kann natürlich auch bei stärkeren Temperaturgegensätzen direkte Ausscheidung des Wasserdampfes in Regenform bewirken, aber als erste Quelle für das atmosphärische Wasser ist doch jene Abkühlung infolge Ausdehnung der nach oben dringenden Luft anzusehen, die wir gleich noch näher betrachten wollen. Wahrscheinlich wirken, wenn es zu intensivem Regnen kommt, Abkühlung und Mischung zusammen. Wenn jedoch die Lufttemperatur eine recht niedrige ist, so erreichen die flüssigen Bestandteile den Erdboden in fester Gestalt. Auch die Kriterien für das Auftreten der einen oder anderen Niederschlagsform hat v. Bezold [321] an der Hand der von der mechanischen Wärmetheorie dargebotenen Leitsätze fest zu formulieren sich bemüht, und wir geben nachstehend einen kurzen Auszug aus seiner einschlägigen Untersuchung.

Der Begriff der adiabatischen Zustandsänderung wasserdampfhaltiger Luft ist bereits von uns eingeführt und verwertet worden (S. 21). Mit Hilfe der von ihm angewandten graphischen Methode hat Hertz [322] den Nachweis geführt, dass man vier Stadien bei diesem Vorgange unterscheiden könne, welche durch die Mengung verschiedener Aggregatzustände des Wassers gekennzeichnet sind. Hieran knüpft v. Bezold an, definiert aber die einzelnen Etappen der Zustandsänderung durch sehr einfache Relationen. Diese vier Phasen sind bezüglich das Trocken-, Regen-, Hagel- und Schneestadium. Wir wollen die Masse des Gemisches jemals durch M_a, M_b, M_c, M_d bezeichnen; 1 (d. h. 1 kg) sei die Masseneinheit der trockenen Luft. Unter x_a die dieser letzteren beigemengte Menge Wasserdampf verstanden, ist dann $M_a = 1 + x_a$ die Bedingungsgleichung für das Trockenstadium. Nun findet Kondensation bei einer Temperatur über 0^0 statt, so dass jetzt neben einer gewissen Quantität x_b gesättigten Wasserdampfes schon auch eine weitere Quantität x'_b flüssigen Wassers vorhanden ist; man hat $M_b = 1 + x_b + x'_b$. Wenn dann weiter das Gemisch von feuchter Luft und Wasser auf den Gefrierpunkt erkaltet, so gibt es ein Quantum x_c gesättigten Dampfes, ein Quantum x'_c flüssigen und ein Quantum x''_c festen Wassers, so dass $M_c = 1 + x_c + x'_c + x''_c$ geworden ist. Bei Temperaturen unter 0^0 wird in der Regel — es kann ja auch überkühltes Wasser (S. 26) vorkommen — die tropfbare Flüssigkeit verschwunden sein, so dass zur Masseneinheit ausser einer gewissen Menge x_d gesättigten Dampfes nur noch eine weitere Menge x''_d Eis oder Schnee hinzutritt; nunmehr ist $M_d = 1 + x_d + x''_d$. Die vier bestimmenden Grössen hängen durch die Gleichungen, resp. Ungleichungen

$$M_a \geqq M_b,\ M_b \geqq M_c,\ M_c \geqq M_d$$

untereinander zusammen. M vermindert sich also stetig.

Gegen die Namengebung liesse sich vielleicht einwenden, dass der Name Hagelstadium den Thatsachenbestand zu sehr spezialisiere. Denn wir werden gleich sehen, dass aus einer im dritten Stadium sich befindenden Wolke oder Luftschicht auch Eis zu Boden fallen kann, welches mit Hagel nichts gemein hat. Die Bezeichnung Eisstadium möchte darum vorzuziehen sein.

Ehe wir auf die Detailbetrachtung der Niederschläge uns einlassen, wollen wir das thatsächliche Moment, über das ja schon wiederholt in anderem Zusammenhange gesprochen werden musste, nochmals kurz rekapitulieren, wobei auf die prägnante Schilderung von Schönrock [323] hingewiesen sein möge. Insolation hat die Entstehung aufsteigender Luftströme zur unmittelbaren Folge, und jeder Stromsäule entspricht oben ein Kumulus. In der Mitte, wo also der Auftrieb am stärksten ist, hat die Kumuluswolke ihren Scheitel, und der Kondensationsprozess, der sich wegen der Dilatation und Abkühlung einleitet, trägt fürs erste zur Vergrösserung der Haufenwolke bei, bis der Regen beginnt. Das fallende Wasser gibt den Anlass zur Auslösung eines absteigenden Luftstromes, dessen nächste Konsequenz wieder die Entstehung eines achsialen luftverdünnten Raumes sein wird. In diesen stürzt höhere, kältere Luft nach, der Ausscheidungsprozess verstärkt sich, und das dauert so lange, bis durch die überallhin sich geltend machende Abkühlung der aufsteigende Strom gänzlich neutralisiert und damit der Regen zum Aufhören gebracht wird. Damit ist dann auch der augenblickliche Feuchtigkeitszustand der Luft von Grund aus geändert.

Nur wäre es irrig, zu glauben, dass die Feuchtigkeitsschwankungen eine ausschliessliche Folge der Niederschläge sein müssten. Diese Annahme, die ja nicht ferne zu liegen scheint, ist durch Grossmann [324] widerlegt worden. — Die Wolkendicke (S. 36) hat Clayden [325] mit der Natur des diese Wolke beherrschenden Aggregatstadiums (s. o.) in Verbindung zu bringen gesucht. Wolken bis zu 600 m Mächtigkeit sollen höchstens einen ganz feinen Regen geben; je grösser die Dicke, um so grösser werde auch der Durchmesser der Regentropfen,

aber Hagel komme erst aus 1800 m dicken Wolken. Ley hat übrigens Wolken gesehen, aus denen Schnee herabfiel, und die bei 120 m Dicke nur 300 m über der Erde schwebten.

Es ist nunmehr an der Zeit, die einzelnen Niederschlagsformen gesondert zu besprechen. Dass vom Hagel Abstand genommen werden muss, ist bereits oben (S. 24) bemerkt und begründet worden.

a) **Regen.** Der Regen fällt, sobald die Tropfen, die erwähntermassen Kugelgestalt haben müssen, schwer genug geworden sind, um den Luftwiderstand überwinden und den Gesetzen der gleichförmig beschleunigten Bewegung folgen zu können. Der Prozess der Tropfenbildung, der früher als etwas sich von selbst verstehendes hingenommen wurde, ist neuerdings ebenfalls als ein interessantes physikalisches Problem erkannt worden.

Dass ein sphärischer Wassertropfen beim Durchschneiden der Luft seine Gestalt etwas verändern und sich an der Unterseite ellipsoidisch abplatten muss, ist leicht einzusehen. Theoretisch hat den Betrag dieser Abplattung Scholz [326] untersucht. — Ueber die Tropfenbildung liegt Bocks inhaltreiche Dissertation [327] vor. Die Ballung wird eingeleitet, wenn zwei Wassermoleküle sich bis zu einer Strecke nahegerückt sind, welche kleiner als der Radius der molekularen Wirkungssphäre ist. Dann greift ein im Prinzipe von W. Thomson (I, S. 201) herrührender Satz platz: Die Druckdifferenz an zwei Flüssigkeitsoberflächen ist umgekehrt proportional der Differenz der Krümmungsradien. Der Dampfdruck ist folglich intensiver an kleinen als an grossen Wasserkugeln, und damit ist erklärt, warum kleinere Tröpfchen in der Nähe von grösseren Kugeln von letzteren sofort verschlungen werden. Ein Tropfen-Individuum ist keineswegs ein homogenes Gebilde, sondern wir haben uns einen solchen zusammengesetzt zu denken aus einem leicht beweglichen, flüssigen Kerne und aus einer sozusagen die Rinde bildenden, minder beweglichen Aussenschicht, welche als Schutzmantel gegen allzu rasche Verdampfung aufgefasst werden kann. Der innerste Kern ist dann, wie wir schon wissen, das Aitkensche Staubkörnchen (S. 22). Von einem Schweben des Tropfens in der Luft kann im strengsten Wortsinne nicht die Rede sein, vielmehr ist die scheinbare Ruhe faktisch eine sehr langsame Bewegung nach unten. Wenn r den Tropfenhalbmesser bedeutet, so kann der Luftwiderstand proportional $r^2\pi$ gesetzt werden, und der Fallbeschleunigung der Schwerkraft wirkt entgegen eine Kraft, deren Ausdruck durch

$$r^2\pi : \frac{4}{3} r^3\pi = 3 : 4r$$

gegeben ist. Ein Lufthauch reicht hin, um die niedersteigende Bewegung vorübergehend in eine aufsteigende zu verwandeln, und so können die Tropfen als Bestandteile von Nebeln und Wolken lange suspendiert in der freien Atmosphäre verharren, bis endlich die Annexion kleinerer Kügelchen das Volumen hinreichend vergrössert hat, um die Falltendenz zur überwiegenden zu machen.

Regentropfen von besonderer Grösse sind mehrfach bemerkt worden; doch ist allerdings stets darauf zu achten, dass nicht eigentliche Tropfen mit zerflossenen Eisklümpchen verwechselt werden. Krümmel sah [328] einmal im Hochsommer Regentropfen, die beim Verdunsten einen feuchten Kreis von 5 cm Durchmesser zurückliessen. Es wäre lohnend, zu erforschen, ob dann, wenn die Regenmenge gelegentlich über das gewöhnliche Mass hinausgeht — solche Beispiele führen Zöppritz und Hann an [329] — auch Tropfengrössen beobachtet worden sind, die von den üblichen Massverhältnissen namhaft abweichen.

Wenn man die Bedeutung erwägt, welche eine geregelte atmosphärische Befeuchtung für den Ackerbau und damit für die Wohlfahrt der Menschheit überhaupt besitzt, liegt es gewiss nahe, daran zu denken, ob jene Vorgänge, aus denen eine stärkere Tropfenbildung resultiert, nicht irgendwie von unten her zu beeinflussen wären. Ist es möglich, durch Eingreifen des Menschen, Regen zu erzeugen

oder doch dessen Fall zu beschleunigen? In Nordamerika ist über diese Möglichkeit viel geschrieben und experimentiert worden, aber wir begnügen uns damit, den Ansichten eines der ersten Sachkenner, Newcombs [330], Raum zu geben.

Man möge nur nicht, wie so oft die Tagesblätter thun, dem Irrwahne huldigen, durch blossen Schall, möge er noch so heftig sein, auf die höheren Regionen der Atmosphäre wirken zu können. Zwei Vorbedingungen müssen erfüllt sein: Der bis dahin durchsichtige Wasserdampf muss Wolken bilden, und aus dem Materiale dieser Wolken müssen durch Ballung Regentropfen entstehen. Wie sollen blosse Knalle dies bewirken? Freilich bringt ein solcher eine leichte Aenderung des atmosphärischen Bewegungszustandes zuwege, aber die von jeder Zusammendrückung der Luft unzertrennliche Wärmeentwickelung muss der Koagulation sogar entgegenwirken. Man hört vielfach behaupten, grosse Schlachten hätten durch den Kanonendonner den Witterungsstand bedingen helfen, allein dieses Argument verliert schon dadurch an Kraft, dass die einen das schöne, die anderen das trübe Wetter als Folgeerscheinung des Geschützfeuers ansprechen. Die Idee, kleine Mengen Dynamit explodieren zu lassen und dadurch die Kondensation zu unterstützen, lässt sich vergleichen mit der anderen, durch Zusammenschlagen der Hände Regen zu erzeugen, denn für die geschlossene Luft eines Zimmers ist der in letzterem Falle bewirkte Grad von Erschütterung etwa ebenso gross, wie der durch eine Explosion in freier Atmosphäre hervorgerufene. Wenn nun gar in Texas — durch Dyrenforth — ein solcher Versuch angestellt worden sein soll, dem ein paar Tage nachher erst der Regen folgte, so hört jede Möglichkeit einer physikalischen Erklärung auf, und auch die Angaben von Jennings, der mit Dynamit beladene Ballons ein paar hundert Meter hoch steigen liess, durch den galvanischen Funken dann die Entzündung herbeiführte und nach drei bis vier Stunden wirklich Regen fallen sah, ist mit Vorsicht aufzunehmen. Eher möchte noch von künstlich entfachten Bränden (S. 28) Erfolg zu erwarten sein. Wir kommen übrigens auf ähnliche Vorkehrungen nochmals in Kap. IV (Abwehr gegen Gewitter) und in Kap. VII (Nachtfrostprognose) zurück.

b) Schnee. Wenn das von früher (S. 37) bekannte Schneestadium die Atmosphäre beherrscht, so treffen die Niederschläge den Boden in festem Zustande. Weitaus am häufigsten ist die winterliche Form der festen Hydrometeore, der Schnee. An ihm interessiert uns zunächst die Gestalt der Flocken, die wir bequem betrachten können, wenn wir jene auf dunkler, das sofortige Zerfliessen verhindernder Unterlage auffangen.

Mehrfache frühere Studien über die Schneegestalt, wie wir sie insbesondere von Engelman [331], Scoresby [332] und Glaisher-Tyndall [333] erhalten haben, wurden wesentlich überholt durch die mit trefflichen Nachbildungen aus-

Fig. 5.

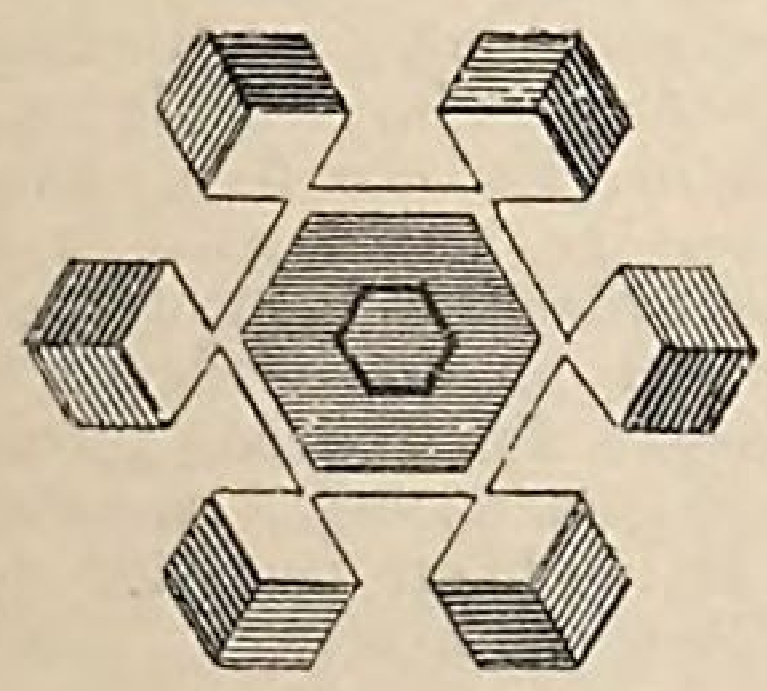
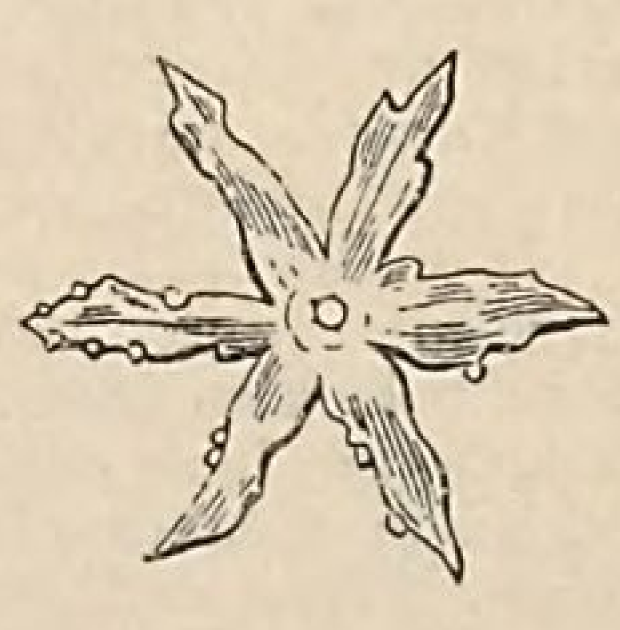


Fig. 6.



gestattete Schrift von Hellmann [334], dem es — wie auch seinerseits dem Russen Sigson [335] — gelang, die Photographie für getreue Wiedergabe der Schneefiguren zu verwenden. Im Drucke hat auf die sechseckige Gestalt der Schneeflocken zuerst Kepler [336] aufmerksam gemacht, aber aus Hell-

manns Reproduktionen älterer Beschreibungen geht hervor, dass der Schneestern schon weit früher, ja sogar schon in scholastischer Zeit, schärferer Naturbeobachtung nicht ganz zu entgehen vermocht hat. Nachbildungen, freilich noch recht unvollkommener Art, finden sich schon bei Albertus Magnus (XIII. Jahrhundert) und Olaus Magnus (1555), etwas bessere späterhin bei Cartesius, Bartholinus und, relativ recht exakt, bei Rossetti (1681). Das sechseckige Prisma ist, wie Fig. 161 und Fig. 162 beweisen, unter allen Umständen die Leitform, aber sonst ist die Mannigfaltigkeit, mit welcher die Natur aus jener Norm heraus Spezialformen bildet, eine ganz erstaunliche. Die gewöhnlichere Abbildung liefert stets schematisch-regelmässigere und nicht so naturgetreue Formen, als man sie der Photographie verdankt; Fig. 5 gehört zur ersteren Kategorie (nach Tyndall), Fig. 6 zur zweiten (nach Hellmann). Tafelförmige Schneekrystalle mit geringer Entwickelung der Raumdimension, und säulenförmige Schneekrystalle, bei welchen die drei Hauptdiagonalen des planen Sechseckes gleich gut mit der Höhe des Prismas ausgebildet sind, dürfen wir mit Hellmann [337] als die beiden Hauptmodalitäten betrachten. Längliche hexagonale Nadeln dürfen wir, wie Palagi vermutet [338], zumal in den höheren und kälteren Schichten der Atmosphäre als das unmittelbare Erstarrungsprodukt der 0,1—0,8 im Durchmesser haltenden Wassertröpfchen voraussetzen.

Schnee fällt äusserst langsam, weil seine Dichte eine höchst geringe ist. Ein Kryställchen, dessen Basisfläche immerhin 2 mm Durchmesser hatte, ergab bei Hellmanns Wägungen ein Gewicht von nur 2,3 mg [339]. Bestimmungen des spezifischen Gewichtes des Schnees sind aus einleuchtenden Gründen selten recht genau, wie dies aus den in Munckes Lexikonartikel „Schnee“ [340] aufgezählten Ermittelungen von Sédileau, Mairan, De la Hire, Musschenbroek, Kraft, van Swinden und Quetelet sich ergibt. Zumeist wird $^1/_{10}$ als die best stimmende Zahl angesehen, während Ratzel $^1/_{17}$ bis $^1/_{22}$ fand [341]. Damit würde sehr gut der Wert $^1/_{16}$ harmonieren, welchen Gube [342], ein von Ratzel als höchst verlässig gerühmter Beobachter, gefunden hatte.

c) Graupeln. Das Frühlings- und Herbsteisstadium (S. 37) unserer Lufthülle spricht sich im Graupelfalle aus, der ja nicht mit Hagelfall verwechselt werden darf. Diese Verschiedenheit muss schon frühzeitig den Menschen zum deutlichen Bewusstsein gekommen sein, weil die modernen Kultursprachen für graupeln auch ein besonderes, nicht zugleich den Hagel treffendes Zeitwort (grésiller, drizzle hail, nevicare a granelli) besitzen.

Davon, dass der Graupelfall eine andere Erklärung als der eigentliche Hagel erheische, war bereits Musschenbroek [343] durchdrungen, aber selbst noch Munckes Artikel „Hagel“ subsumiert [344] unter diesen Begriff auch die Graupeln als „kleineren Hagel“, obwohl er selber einen tiefer gehenden Unterschied zwischen beiden Niederschlagsformen mit Humboldt und Saussure darin erblickt, dass es auf hohen Bergen und an der Seeküste zwar sehr häufig Graupeln, aber nur ganz ausnahmsweise Hagel zu beobachten gäbe [345]. Die sogenannten Graupelkörner sind mehrenteils sphärisch gerundet, ohne Hervorragungen, wie solche die Hagelschlossen auszeichnen, und ziemlich undurchsichtig; nicht selten ist schalige Anordnung zu bemerken, indem die einzelnen konzentrischen Schichten verschieden gefärbt und nicht gleich stark opak sind. Damit ist auch eine sehr plausible Deutung des Entstehungsvorganges nahegelegt. In der Luft befinden sich, in verschiedenen Abständen von der Erdoberfläche, Schichten überkälteten Wassers. Ein Teilchen gefrorenen Wassers durchschlägt folgeweise diese Schichten, und indem jeder Anstoss die Flüssigkeit zum augenblicklichen Erstarren bringt (S. 26), schlägt sich auf dem stetig anwachsenden Graupelkerne auch eine neue Eisschicht nieder.

d) Eisregen. Eine gleichmässig vom Hagel, wie vom Graupelfalle zu unterscheidende Erscheinung haben wir im eigentlichen Eisregen anzuerkennen, mit dem sich in der Folge die Meteorologie wohl noch mehr denn bisher zu beschäftigen haben wird. Mit Rück-

sicht auf eine sehr lebensvolle Schilderung von Merian [346] ist schon die erste Auflage dieses Werkes für die Trennung dieser allerdings selteneren Ereignisse von den erwähnten beiden Niederschlagsformen eingetreten. Seitdem haben sich die Belege für die Berechtigung einer solchen Unterscheidung vermehrt.

Es hat z. B. Krankenhagen [347] Eispartikeln beim Fallen beobachtet, welche 1—2 mm Dicke hatten und genaue Kugelgestalt aufwiesen. Dieser Wahrnehmung reihte sich diejenige Körbers [348] an; ein Eisregen vergletscherte einmal förmlich die Galerie der Breslauer Sternwarte. Und auch Pikes [349] Nachrichten über Eisstürme fühlt man sich heranzuziehen versucht, obwohl nicht ganz festzustehen scheint, ob die Eisbildung bereits in der Luft oder erst am Boden erfolgte.

Die beim Eisregen fallenden Körner sind hell und durchsichtig; sie heben sich von den geschichteten Graupelkugeln insbesondere auch durch ihr homogenes Aussehen ab. An die Mitwirkung überkälteten Wassers ist kaum zu denken, vielmehr muss man es für wahrscheinlich halten, dass es in den oberen Regionen direkt zur Formation von Eiskugeln an Stelle der sonst die Regel darstellenden Schneeflocken kam. Die Graupeln mögen vielleicht als Zwischenglied zwischen diese atmosphärischen Eisabsonderungen und die Hagelkörper einzuschieben sein.

§. 15. **Akustische Erscheinungen.** Von sämtlichen Zweigen der Naturlehre steht offenbar die Akustik in der mindest nahen Verbindung mit der Erdkunde. Aber gleichwohl gibt es eine ganze Reihe von Phänomenen, welche einen physikalish-geographischen Charakter nicht verleugnen können, und diesen soll der Schlussparagraph des Kapitels eingeräumt werden.

Hieher gehört zuvörderst die von Tyndall [350] geschaffene Lehre von den akustischen Wolken. Die gewöhnlichen Wolken bilden ein Hindernis für den Durchgang der Lichtstrahlen, die akustischen Wolken für den Durchgang der Schallstrahlen. Aber die Voraussetzungen für die Bildung solcher Hemmnisse sind durchaus keine übereinstimmenden.

Schon bei den berühmten Versuchen zur Bestimmung der Schallgeschwindigkeit, welche 1822 von Prony, Mathieu, Arago, Humboldt, Gay-Lussac und Bouvard auf dem Hochplateau südöstlich von Paris angestellt wurden [351], hatte man zu bemerken geglaubt, dass die optische und akustische Durchlässigkeit der Luft in geradem Gegensatze zu einander stehen, aber erst Tyndall bewies die Richtigkeit dieser Annahme durch die von ihm organisierten Versuche mit Nebelhornsignalen. Nach O. Reynolds kann aber auch Nebel schalldämpfend wirken, und nach Jacques wird vielfach die schlechte Akustik von Sälen direkt bedingt durch ungünstige Luftströmungen, welche die richtige, allseitige Ausbreitung des Schalles unmöglich machen [352].

Auch des Echos oder Wiederhalles, dessen Gebundensein an bestimmte Oertlichkeiten ja allgemein bekannt ist, haben wir zu gedenken. Kein Geringerer als L. Euler hat [353] für die Folge der artikulierten Klänge, welche ein Echo wiedergibt, ein Gesetz auszumitteln versucht, indem er die Schwingungen einer in eine Röhre von beliebiger Gestalt eingeschlossenen Luftsäule mathematisch untersuchte. Der sehr ausführlichen Zusammenstellung unseres Wissens vom Wiederhall, welche man bei Muncke [354] findet, ist seitdem nichts mehr von Erheblichkeit beigefügt worden.

Man unterscheidet das vielfache Echo, welches in der Regel an gewissen Baulichkeiten, aber auch an Felsbildungen haftet, vom einfachen Wald-

echo. Von dem berühmten Echo des Adersbacher Felslabyrinthes im böhmisch-schlesischen Felsgebirge (s. u. in Abt. VIII, Kap. V) wird berichtet [355], dass es sieben Silben wiederhole, ohne dieselben im mindesten zu verwirren. Schon Blancanus ging in einem „Echometria theoretica" überschriebenen Abschnitte seines kosmologischen Werkes [356] darauf aus, die Distanz zu bestimmen, welcher eine genaue Zurückwerfung der von einer Wand abprallenden Schallwelle entsprechen sollte, allein die hier konkurrierenden Umstände sind zu vielgestaltig, als dass man leicht zu genauen Zahlwerten gelangen könnte. Wie schwierig solche Untersuchungen sind, das lehrt uns Hirns [357] Analyse des durch ausströmenden Dampf erzeugten Geräusches, einer Kombination aller möglichen Töne vom höchsten bis zum niedrigsten, aus welchem nur noch lokalen Umständen dieser oder jener Ton schärfer hervortritt.

Hieher gehört ferner das Rollen des Donners. Ein Geräusch ist stets zu erwarten, wenn Elektrizität irgend einen Gegenstand — hier also der Blitz die Luft (s. u. in Kap. IV) — gewaltsam durchdringt, aber damit ist allein das polternde Getöse noch nicht erklärt. Hiefür ist also noch weitere Forschung von nöten.

Als Reflexionserscheinung definiert schon Arago [358] den Donner. Reis huldigt der durch Láska noch mit einer Erweiterung hinsichtlich der Temperaturdifferenzen versehenen Meinung [359], dass der Schall jener Luftzerreissung in die eine Wolke eintritt und an deren entgegengesetzter Grenzfläche eine Reflexion erleidet. Dieselbe sei als Ursache der abrupten Schläge anzusehen, indem die Intermittenz von der Verschiedenheit der reflektierenden Flächen resultiere.

Auch die Windbrechung kann akustische Folgeerscheinungen haben. Es gehören dahin die Thatsache, dass Töne, die für gewöhnlich nur in enge begrenzten Entfernungen vernehmbar sind, plötzlich sehr weit gehört werden. Vielleicht darf rascher Wechsel in der Brechung des durch Medien von verschiedener Dichte hindurchgehenden Schallstrahles auch verantwortlich gemacht werden für ein Vorkommnis, welches vor nicht langer Zeit unter dem Namen Hochwaldrätsel von sich reden machte.

Aus den Polarländern sind genug Beispiele vorhanden, dass man in der dortigen dünnen Luft die menschliche Stimme sogar noch in einer Entfernung von 2 km deutlich unterschied; neben den Angaben von Parry und Foster fallen besonders diejenigen von Bessels [360] ins Gewicht. Hier läge nach Reis [361] nichts anderes inmitte als eben die durch den Wind, durch Wärmedifferenzen und wechselnde Wasserdampfladung der Luft bedingte Refraktion des Schalles. Mit dem von Reuleaux [362] einlässlich beschriebenen Hochwaldmysterium hat es folgende Bewandtnis. Der genannte Autor fand in einem abgelegenen Thale des Hunsrück-Gebirges, dass man an gewissen Stellen stabile oder doch nur ganz langsam fortschreitende Tonwellen bemerke, welche ähnlich wie Glockentöne sich auszubreiten, dann aber plötzlich Halt zu machen schienen. Reflexion und Brechung der Schallwellen werden wohl auch da im Spiele sein, aber die näheren Umstände aufzuklären ist noch nicht gelungen.

Vielleicht aber schlagen auch diese Tonerscheinungen die Brücke zu jenen neuerdings viel besprochenen Lufterschütterungen, mit welchen uns zuerst die Niederländer unter dem Namen der „Mistpoeffers" oder „Zeepoeffers" bekannt gemacht haben, die man in Vorderindien als „Barisal-Guns" kennt, und für welche die deutsche Dialektsprache eine Menge von Ausdrücken hat, von denen es freilich fraglich erscheint, ob sie sich vollkommen gleichwertig sind. Den Geographen orientieren hierüber zwei Aufsätze von Sieger [363] und L. Weber [364]; der erstgenannte gibt mit kurzen Strichen eine Uebersicht über die thatsächlich vorliegenden Erfahrungen, während der

andere, auf eine reiche Litteratur sich stützend, auch theoretische Fragen in Betracht zieht.

Die Mehrzahl der Fälle bezieht sich auf schussartige, dumpfe Detonationen, welche einander in Zwischenpausen von ungleicher Länge folgen. Meist stammen die Beobachtungen aus dem Gebiete grosser Ansammlungen von Wasser. Penck kennt — nach Sieger — ähnliche Schallphänomene von den oberbayerischen Seen und vom Adriatischen Meere; Wasserschüsse sollen eine Eigentümlichkeit des schwedischen Wettern-Sees sein; in der Westschweiz ist das Murtener Schiessen bekannt; das Seeschiessen vom Boden-See hat durch den Grafen Zeppelin [365] monographische Behandlung erfahren. Ausserordentlich reiches Material zur näheren Erkundung der mit Vulkanismus, Erderschütterungen, Erdrutschen, unterirdischen Gasexplosionen und auch mit jähen Störungen des atmosphärischen Gleichgewichtes in Kausalbeziehung gesetzten Erscheinung ist durch van den Broeck, Davison, Meldola, G. H. Darwin, Lancaster und vor allem durch Wichmann beigebracht worden [366], und auch aus Italien und den deutschen Küstenländern liegen bestätigende Nachrichten vor. Noch weiss man nicht sicher, ob Luft, Wasser oder Teile der Lithosphäre als Ursprung dieser Geräusche anzusprechen seien, und auch die Art der Fortleitung bleibt einstweilen noch dunkel. Mehrfach mögen auch Irrtümer mit unterlaufen, veranlasst durch die gewaltigen Erschütterungseffekte, welche die modernen Feuerwaffen auf die Atmosphäre ausüben. Die bayerischen Schiessversuche auf dem Lechfelde z. B. sind innerhalb eines Bezirkes hörbar, der mit der guten Hälfte der schwäbisch-bayerischen Hochebene zusammenfallen dürfte. — Auf die allerdings wohl auch der Meteorologie nicht ganz fern stehende Frage der tönenden Brunnen, mit denen sich besonders F. Roth beschäftigt hat [367], werden wir besser in Abt. VIII, Kap. IV des näheren einzugehen haben.

Alles in allem ist aber doch das Vorkommen von Luftknallen ohne allen Zweifel etwas Reelles, glaubwürdig Bezeugtes. Man kann im Anschlusse an Weber [368] dreierlei Wege der Erklärung als möglicherweise gangbar bezeichnen: Das Vorhandensein anomaler Resonanz- oder Brechungsverhältnisse, durch deren Vermittelung eine entfernte Detonation an Orten vernehmbar wird, welche ganz ausserhalb der natürlichen Gehörsphäre liegen; das Auftreten explosionsartiger Geräusche, über deren Natur wir jetzt noch nicht unterrichtet sind; endlich besondere Arten von Kombinationstönen, wie solche auch v. Fischer-Benzon [369] bei vielfachen Echos (s. o.) kennen gelernt habe.

[1] A. Heller, Geschichte der Physik von Aristoteles bis auf die neueste Zeit, I, Stuttgart 1882, S. 59 ff. — [2] Ideler, Meteorologia veterum Graecorum et Romanorum, Berlin 1832. — [3] Sudhoff, Versuch einer Kritik der Echtheit der Paracelsischen Schriften, I, Berlin 1894. — [4] Theophrastus Paracelsus, Das Buch Meteororum, Köln 1566; Basel 1569. — [5] Siber, Fragmente zur Geschichte der Meteorologie, A. C. M., II, S. 373 ff.; IV, S. 287 ff.; V, S. 284 ff.; VI, S. 372 ff.; VII, S. 198 ff. — [6] H. Kopp, Einiges über Witterungsangaben, Braunschweig 1879. — [7] van Bebber, Handbuch der ausübenden Witterungskunde, I, Stuttgart 1885, S. 9 ff. — [8] Wood-Symons, Theophrastus of Eresus on Winds and Wheather Signs, London 1894. — [9] Merle-Symons, Considerationes temperiei per septem annos, London 1889. — [10] Praktische Witterungskunde im XVI. Jahrhundert, M. Z., I, S. 328 ff.; L. Reynmann, Wetterbüchlein von wahrer Erkenntnis des Wetters, N. S. K. M. E., Nr. 1, Berlin 1893.— [11] Duro, De algunas obras desconocidas de cosmografia y de navigación, y singularmente de la que escribió Alfonso De Chaves á principio del siglo XVI, Madrid 1895. — [12] van Bebber, I, S. 29 ff. — [13] Günther, Studien zur Geschichte der mathematischen und physikalischen Geographie, Halle a. d. S. 1881, S. 318 ff. — [14] Ebenda, S. 300 ff.; Lacour, Tyge Brahes Meteorologiske Dagbog, holdt paa Uraniborg for Arene 1582—1597, Kopenhagen 1876. — [15] Brocard, Essai sur la météorologie de Kepler, I, Grenoble 1879; II, ibid. 1880. — [16] Kepleri Opera Omnia, VII, Frankfurt a. M.-Erlangen 1868, S. 618 ff. — [17] Hellmann, Das älteste Berliner Wetterbuch 1700—1701 von Gottfried Kirch und seiner Frau Margaretha Kirch geb. Winkelmann, Berlin 1893. — [18] Hellmann, Die ältesten meteorologischen Beobachtungen aus Wien, M. Z., XII, S. 35 ff. — [19] van Ghelen, Aëromanteia, Wien 1715—1717. — [20] Liznar, Ueber die ältesten meteorologischen Beobachtungen von Wien, M. Z., VIII, S. 81 ff. — [21] Pilgram, Untersuchungen über das Wahrscheinliche der Wetterkunde durch vieljährige Beobachtungen, Wien 1788. — [22] Traumüller, Die Mannheimer Meteorologische Gesellschaft (1780—1795); ein Beitrag zur Geschichte der Meteorologie, Leipzig 1885. — [23] C. Lang, Die Bestrebungen Bayerns auf meteorologischem Gebiete, S. A. M., M. P., 1890, S. 1 ff. — [24] Günther, Eusebius Amorts Bestrebungen auf astronomischem und geophysikalischem Gebiete, F. b. K. L., I, S. 110 ff. — [25] Meurer, Commentarii meteorologici, Leipzig 1592. — [26] William Cock, Meteorologia oder der rechte Weg,

vorher zu wissen, zu beurteilen die Veränderung der Luft und Abwechselung des Wetters in verschiedenen Ländern . . ., deutsch von Schlüter (?), Hamburg 1691; G. E. Stahl, Einleitung zu der neuen Meteoroskopie, oder Witterungsdeutung, nach William Cocks Grundreguln . . . Halle a. d. S. 1716. — [27] Liebmann, Chr. Trautmann und die erste meteorologische Station der Oberlausitz, Löbau 1889. — [28] Bormann, Das Shakespeare-Geheimnis, Leipzig 1894, S. 16 ff. — [29] v. Guericke, Experimenta nova (ut vocantur) Magdeburgica de vacuo spatio, Amsterdam 1672; deutsch von Dannemann, O. K., Nr. 59, Leipzig 1894; Dannemann, Grundriss einer Geschichte der Naturwissenschaften, I, Leipzig 1896, S. 59 ff. — [30] v. Bezold, Ueber die Fortschritte der wissenschaftlichen Witterungskunde während der letzten Jahrzehnte, M. Z., II, S. 313 ff. — [31] Brandes, Beiträge zur Witterungskunde, Leipzig 1820; De repentinis variationibus in pressione atmosphaerae observatis, Leipzig 1829 — [32] Cotte, Traité de météorologie, Paris 1774; Mémoires sur la météorologie, Paris 1788. — [33] Kastner, Handbuch der Meteorologie, Erlangen 1830. — [34] Kämtz, Lehrbuch der Meteorologie, Halle a. d. S. 1831—36; Vorlesungen über Meteorologie, Halle a. d. S. 1840. — [35] Murphy, Meteorology, considerated in its Connection with the Astronomy, Climate and the Geographical Distribution of Animals and Plants, London 1843. — [36] Jahn, Handbuch der Witterungskunde, Leipzig 1855. — [37] E. E. Schmid, Lehrbuch der Meteorologie, Leipzig 1861. — [38] E. E. Schmid, Grundriss der Meteorologie, Leipzig 1862. — [39] Cornelius, Meteorologie, Halle a. d. S. 1863. — [40] Helmes, Das Wetter und die Wetterprophezeiungen, Hannover 1838. — [41] Mohn, Grundzüge der Meteorologie, Berlin 1874; 4. Aufl., ibid. 1887. — [42] J. R. Scott, Elementary Meteorology, London 1883. — [43] Scott-v. Freeden, Elementare Meteorologie, Leipzig 1884. — [44] Bachmann, Grundriss der Meteorologie, Nördlingen 1876. — [45] Honzeau-Lancaster, Traité élémentaire de météorologie, Mons 1883. — [46] H. J. Klein, Allgemeine Witterungskunde, Prag-Leipzig 1883. — [47] Mann-Laugthon-Strachan-Ley-Symons-Scott, Die moderne Meteorologie, Braunschweig 1884. — [48] Sprung, Lehrbuch der Meteorologie, Hamburg 1885. — [49] Abercromby, Wheater; A popular Exposition of the Nature of Wheater Changes from Day to Day, London 1887. — [50] Abercromby-Pernter, Das Wetter, eine populäre Darstellung der Wetterfolge, Freiburg i. Br. 1894. — [51] Millot, Cours de météorologie professé à l'université de Nancy, Nancy 1887. — [52] De Marchi, Meteorologia generale, Mailand 1888. — [53] Günther, Die Meteorologie ihrem neuesten Standpunkte gemäss und mit besonderer Berücksichtigung geographischer Fragen dargestellt, München 1889. — [54] van Bebber, Lehrbuch der Meteorologie für Studierende und zum Gebrauche in der Praxis, Stuttgart 1890. — [55] Umlauft, Das Luftmeer; die Grundzüge der Meteorologie und Klimatologie nach den neuesten Forschungen gemeinfasslich dargestellt, Wien-Pest-Leipzig 1891. — [56] Hornberger, Grundriss der Meteorologie und Klimatologie, Berlin 1891. — [57] Wilk, Grundbegriffe der Meteorologie für höhere Schulen und zum Selbstunterrichte zusammengestellt, Leipzig 1892. — [58] Glass, Abriss der Meteorologie und Elektrizitätslehre, Plauen i. V. 1893. — [59] van Bebber, Katechismus der Meteorologie, Leipzig 1893. — [60] F. Waldo, Modern Meteorology, London 1893. — [61] W. A. Davis, Elementary Meteorology, Boston 1894. — [62] Marcuse, Die atmosphärische Luft; eine allgemeine Darstellung ihres Wesens, ihrer Eigenschaften und ihrer Bedeutung, Berlin 1896. — [63] Viscovich, Manuale nautico di meteorologia, Triest 1876. — [64] W. R. Martin, A Text Book of Ocean Meteorology, London 1887. — [65] De Sugny, Eléments de météorologie nautique, Paris 1890. — [66] Haus, Grundzüge der Ozeanographie und maritimen Meteorologie, Wien 1891. — [67] Attlmayr, Handbuch der Ozeanographie und maritimen Meteorologie, II, Wien 1883. — [68] Murhard, Geschichte der Barometrie und Hygrometrie, Göttingen 1799. — [69] Schwartz, Wolken und Wind, Blitz und Donner, Berlin 1870. — [70] Hellmann, Repertorium der deutschen Meteorologie, Leipzig 1883. — [71] Ebenda, Sp. 869 ff. — [72] Greely, Bibliography of Meteorology, I, Washington 1888, II, ibid. 1889. — [73] Meibauer, Die physische Beschaffenheit des Sonnensystemes, Berlin 1872, S. 58 ff. — [74] Laplace, Exposition du système de monde, Paris 1796, S. 218 ff. — [75] F. Neumann-Pape, Einleitung in die theoretische Physik, Leipzig 1883, S. 170 ff. — [76] Helmert, Die mathematischen und physikalischen Theorien der höheren Geodäsie, II, Leipzig 1884, S. 100 ff. — [77] Melanderhjelm, De atmosphaera terram ambiente pars I, Upsala 1763; Laplace-Serret, Oeuvres complètes, VI, Paris 1846, S. 309. — [78] G. G. Schmidt, Ueber die Ursache der Begrenzung unseres Luftkreises und die Bestimmung der Höhe derselben, G. A. P., LXII, S. 310 ff. — [79] A. Ritter, Untersuchungen über die Höhe der Atmosphäre und über die Konstitution gasförmiger Weltkörper, A. P. C., (2) V, S. 407 ff. — [80] Ebenda, S. 417. — [81] Varenius-Newton, Geographia generalis, Cambridge 1672, S. 345 ff. — [82] Kerber, Die Höhe der Atmosphäre, A. P. C., (2) XIV, S. 117 ff. — [83] Schiaparelli-v. Boguslawski, Entwurf einer astronomischen Theorie der Sternschnuppen, Stettin 1871, S. 3 ff.; Die mod. Meteorol., S. 11; Soret, Sur la polarisation atmosphérique, C. R., CVI, S. 203 ff.; W. König, Ueber die Höhe der Atmosphäre, M. Z., VI, S. 17 ff. — [84] Flögel, Ueber die Höhe des Polarlichtes und dessen Lage im Raume, Z. ö. G. M., VI, S. 353 ff., 385 ff. — [85] Heller, I, S. 170; Rosenberger, Geschichte der Physik, I, Braunschweig 1882, S. 80. — [86] Curtze, Sur l'orthographie du nom et sur la patrie de Witelo (Vitellion), B. B., IV, S. 49 ff. — [87] Vitellionis mathematici doctissimi περὶ ὀπτικῆς libri X, ed. Tannstetter-Apianus, Nürnberg 1535, fol. 282, I. — [88] Kepler-Frisch, Opera omnia, II, Frankfurt a. M.-Erlangen 1859, S. 179; Cotte, Traité etc., S. 4 ff. — [89] E. E. Schmidt, Lehrb. etc., S. 48 ff. — [90] Mohn, Irisierende Wolken, M. Z., X, S. 81 ff. — [91] Jesse, Die Höhe der Dunstschicht, durch welche die merkwürdigen Dämmerungserscheinungen der letzten Monate hervorgerufen worden sind, M. Z., I, S. 127 ff.; Ueber die Höhe der irisierenden Wolken, M. Z., X, S. 384 ff. — [92] Mascart, Ueber die Masse der Atmosphäre, M. Z., IX, S. 111 ff.; C. R., CXIV, S. 93 ff. — [93] Rothlauf, Die Physik Platons, eine Studie auf Grund seiner Werke, München 1887. — [94] Aristoteles, Physica, ed. Prantl, Leipzig 1879, S. 67 ff. — [95] M. Cantor, Die Agrimensoren und ihre Stellung in der Geschichte der Feldmesskunst, Leipzig 1875, S. 16 ff. — [96] Hochheim, Otto v. Guericke als Physiker, Magdeburg 1872. — [97] Rosenberger, II, S. 148. — [98] Ebenda, S. 150. — [99] Boyle, Observations and Directions concerning the Barometer, P. T., 1666, S. 181 ff. — [100] Rosenberger, II, S. 158, 204. — [101] Mariotte, Discours sur la nature de l'air, Paris 1676. — [102] Gay-Lussac, Recherches sur la dilatation des gaz et des vapeurs, A. C. P., XLIII, S. 137 ff. — [103] Priestley, Experiments and Observations on different Kinds of Air, London 1774—77. — [104] Rosenberger, II, S. 100 ff. — [105] Dalton, Meteorological Observations and Essays, Manchester 1793. — [106] Despretz, Sur la compression des gaz, A. C. P., (2) XXXIV, S. 335 ff. — [107] Rosenberger, II, S. 460 ff. — [108] Reis, Die Theorie des kritischen Zustandes, H., VII, S. 369 ff. — [109] Biehringer, Ueber eine Erweiterung des Mariotte-Gay-Lussacschen Gesetzes, Z. M. P., XXVII, S. 377 ff. — [110] M. Kuhn, Ueber die Beziehung zwischen Druck, Volumen und Temperatur bei Gasen, Wien 1875; 2. Aufl., ibid. 1893. — [111] Ebenda, S. 24 ff. — [112] Schlemüller, Der Zusammenhang zwischen Höhenunterschied, Temperatur und Druck in einer ruhenden, nicht bestrahlten Atmosphäre, Prag 1880, S. 19. — [113] v. Bauernfeind, Die physikalische Konstitution der Atmosphäre nach der Theorie des k. k. Hauptmanns Herrn W. Schlemüller, München

1880. — [114] Bohn, Ergebnisse physikalischer Forschung, Leipzig 1878, S. 337. — [115] Mohn (3. Aufl.), S. 17. — [116] Ebenda, S. 19. — [117] Bohn, S. 261. — [118] Velten, Ueber die spezifische Wärme des Wassers, A. P. C., (2) XXI, S. 31 ff. — [119] Mohn, S. 35 ff. — [120] Kundt-Warburg, Ueber die Reibung und Wärmeleitung verdünnter Gase, A. P. C., CLVI, S. 177 ff.; Winkelmann, Ueber die Wärmeleitung der Gase, A. P. C., (2) XLIV, S. 177 ff., 429 ff.; Ueber den absoluten Wert der Wärmeleitungskonstante der Luft, A. P. C., (2) XLVIII, S. 180 ff.; Grätz, Ueber die Wärmeleitung von Gasen und ihre Abhängigkeit von der Temperatur, A. P. C., (2) XIV, S. 232 ff.; Kutta, Zur Theorie des Stefanschen Eiskalorimeters, A. P. C., (2) LIV, S. 104 ff.; E. Müller, Experimentelle Untersuchungen über die absolute Wärmeleitungskonstante der Luft, Leipzig 1896. — [121] E. Müller, S. 47. — [122] G. P. W., I, S. 454. — [123] Ebenda, III, S. 1163 ff. — [124] Scheele, Chemische Abhandlung von der Luft und dem Feuer, Upsala-Leipzig 1777; 2. Aufl., Leipzig 1782; O. K., Nr. 58. — [125] Lavoisier, Traité élémentaire de chimie présenté dans une ordre nouveau et d'après les découvertes modernes, I, Paris 1789, cap. III, cap. V. — [126] Dannemann, I, S. 167 ff., 174 ff. — [127] v. Jolly, Ueber die Veränderlichkeit in der Zusammensetzung der atmosphärischen Luft, A. P. C., (2) VI, S. 520 ff. — [128] Hempel, Ueber den Sauerstoffgehalt der atmosphärischen Luft, B. d. d. C. G., XX, S. 1864 ff. — [129] van Bebber, Hygienische Meteorologie, Stuttgart 1895, S. 12 ff. — [130] Ucke, Die quantitativen Verhältnisse des Sauerstoffes der Luft in den verschiedenen Klimaten, Z. ö. G. M., X, S. 33 ff. — [131] van Bebber, Hygien. Met., S. 15. — [132] C. Engler, Historisch-kritische Studien über das Ozon, Lp., XV, 124 ff., 141 ff.; XVI, S. 91 ff., 104 ff., 125 ff., 134 ff., 155 ff., 170 ff.; separat Leipzig 1880. — [133] van Marum, Beschreibung einer Elektrisiermaschine, I, Leipzig 1786, S. 25 ff. — [134] Schönbein, Ueber den bei Elektrolysation des Wassers und dem Ausströmen der gemeinen Elektrizität aus Spitzen bemerkbaren Geruch, D. A. M., M. P., III, 1, S. 257 ff. — [135] Schönbein, Ueber die Erzeugung des Ozons auf chemischem Wege, Basel 1844; Denkschrift über das Ozon, Basel 1849; Ueber den Einfluss des Sonnenlichtes auf die chemische Thätigkeit des Sauerstoffes und den Ursprung der Wolkenelektrizität und des Gewitters, Basel 1850. — [136] Andrews, On the Identity of the Body in the Atmosphere which decomposed Jodide of Potassium with Ozone, P. M., XXXIV, S. 315 ff. — [137] Engler, a. a. O., XVI, S. 93. — [138] Meissner, Neue Untersuchungen über den elektrischen Sauerstoff, Göttingen 1869; Engler a. a. O., XVI, S. 105. — [139] Ebenda, XVI, S. 125 ff. — [140] G. Krebs, Drei Ozon-Apparate, A. P. C., (2) XXI, S. 139 ff. — [141] Hautefeuille-Chappuis, Recherches sur l'ozone, A. E. N. S., (3) I, S. 79 ff. — [142] Engler, XVI, S. 107; van Bebber, S. 45. — [143] Ebenda, S. 47. — [144] N., LI, S. 347 ff.; N. R., X, S. 117 ff.; K. J., VI, S. 295 ff. — [145] Karell, Das Helium, B. A. Z., 1896, Nr. 33. — [146] K. J., VI, S. 298. — [147] Bonnet, Recherches sur l'usage des feuilles dans les plantes, Göttingen-Leiden 1754. — [148] Senebier, Mémoires physico-chimiques sur l'influence de la lumière solaire pour modifier les êtres des trois règnes de la nature, Genf 1782. — [149] Die Elektrizität und der Kohlensäuregehalt der Luft am Kap Hoorn, Nr., XVII, S. 150 ff. — [150] Heine, Ueber die Absorption der Wärme durch Gase und eine darauf basierende Methode zur Bestimmung des Kohlensäuregehaltes der atmosphärischen Luft, 21. B. O. G. N. H., S. 17 ff. — [151] van Bebber, S. 31. — [152] Blochmann, Ueber den Kohlensäuregehalt der atmosphärischen Luft, A. C. P., CCXXXVII, S. 39 ff. — [153] Hann, Handbuch der Klimatologie, Stuttgart 1883, S. 49. — [154] Marcet-Landrist, Recherches sur la proportion d'acide carbonique contenu dans l'air de la plaine et de la montagne, A. s. p. n., (3) XVI, S. 544 ff., F. A., X, S. 248 ff. — [155] v. Ilosvay, Ozongehalt der Luft, M. Z., VII, S. 120. — [156] van Bebber, S. 50 ff. — [157] Renk, Die Luft, Handbuch der Hygiene und der Gewerbekrankheiten, I, 2, 2, Leipzig 1886, S. 172 ff. — [158] Bodenluft in der Atmosphäre, M. Z., I, S. 325 ff. — [159] van Bebber, S. 41 ff. — [160] Ammoniakgehalt der Luft und der Niederschläge in den Tropen, M. Z., IX, S. 103 ff. — [161] Ebermayer, Hygienische Bedeutung der Waldluft und des Waldbodens, F. A., XIII, S. 424 ff. — [162] van Bebber, S. 44. — [163] Ueber den Salpetersäuregehalt tropischer Regen, M. Z., VI, S. 435 ff. — [164] R. Sendtner, Schweflige Säure und Schwefelsäure im Schnee, B. J. G., 1887, V, S. 67 ff. — [165] C. Lang, Der Schnee ein Zerstörer von Kunstwerken in den Städten, W., IV, S. 150 ff. — [166] Meteorologia Aristotelis eleganti Jacobi Fabri Stapulensis paraphrasi explanata commentarioque Joannis Coclei Norici declarata ad foelices in philosophiae studiis successus jam primum calcographiae demandata, Nürnberg 1512, fol. XXVI, 1. — [167] Worm, Historia animalis, quod in Norvegia e nubibus decidit, Kopenhagen 1653. — [168] G. P. W., VII, 2, S. 1224 ff. — [169] Laue, C. G. Ehrenberg, ein Vertreter deutscher Naturforschung im XIX. Jahrhundert, Berlin 1895, S. 213 ff. — [170] Ehrenberg, Passatstaub und Blutregen, Leipzig 1849; Uebersicht der seit 1847 fortgesetzten Untersuchungen über das von der Atmosphäre unsichtbar getragene organische Leben, Berlin 1873. — [171] Tintenregen, M. Z., VI, S. 35. — [172] G. P. W., VII, 2, S. 1229. — [173] Goeppert, Ueber die sogenannten Getreide- und Schwefelregen, A. P. C., XXI, S. 550 ff. — [174] Assmann, Die Bedeutung des Staubes in der Atmosphäre, Magdeburg 1882. — [175] Dennis, Ueber die Reinheit der Luft auf dem Ozean, M. Z., IV, S. [104]. — [176] Dinklage, Die Staubfälle im Passatgebiete des Nordatlantischen Ozeanes, A. H. m. M., 1886, S. 61 ff., 113 ff. — [177] Aitken, The Number of Dust Particles in the Atmosphere, N., XXXVII, S. 428 ff.; On the Number of Dust Particles in the Atmosphere of certain Places, N., XLI, S. 394 ff.; On the fast and fluid Particles in the Clouds, N., XLIV, S. 279 ff. — [178] Aitken, On the Particles in Mists and Clouds, T. R. S. E., XXXVII, 413 ff. — [179] van Bebber, S. 59. — [180] Th. Fischer, Studien über das Klima der Mittelmeerländer, P. G. M., E. H., Nr. 58, S. 37 ff. — [181] Willkomm, Die Pyrenäische Halbinsel, I, Prag 1884, S. 101 ff. — [182] Hann, S. 443. — [183] Finke, Naturhistorische Bemerkungen, betreffend eine auf vieljährige meteorologische Beobachtungen sich stützende Beschreibung des Moordampfes in Westfalen und seine nachteiligen Einflüsse auf die dortige Witterung, Hannover 1820; Der Moorrauch in Westfalen, ein Beitrag zur Meteorologie, Lingen 1825. — [184] v. Lär, Der Moorrauch und seine Beseitigung, Münster i. W. 1871. — [185] Peschel-Ruge, Geschichte der Erdkunde bis auf A. v. Humboldt und C. Ritter, München 1877, S. 771 ff., G. P. W., VII, 2, S. 1212 ff. — [186] Le Roy, Mémoire sur l'élévation et la suspension de l'eau en air et sur la rosée, Paris 1751. — [188] H. B. Saussure, Essays sur l'hygrométrie, Neuchatel 1783. — [188] Deluc, Neue Ideen über Meteorologie, II, Berlin-Stettin 1788. — [189] Lampadius, Kurze Darstellung der vorzüglichsten Theorien des Feuers, Göttingen 1793, S. 86 ff. — [190] Lichtenberg, Verteidigung des Hygrometers und der Delucschen Theorien vom Regen, Göttingen 1800. — [191] Zylius, Versuch einer Theorie des Regens, Berlin 1795. — [192] J. Hutton, Theory of Rain, T. R. S. E., I, S. 41 ff. — [193] Kratzenstein, Théorie de l'élévation des vapeurs et des exhalaisons, démontrée mathématiquement, Bordeaux 1745; deutsch, Halle a. d. S. 1747. — [194] Clausius, Natur der Licht reflektierenden Bestandteile der Atmosphäre, A. P. C., LXXVI, S. 161 ff. — [195] F. Roth, Untersuchung über die kleinsten Teile des Wassernebels, Gross-Umstadt 1875, S. 15. — [196] Kober, Ueber die angeblichen Dunstbläschen der Atmosphäre, A. P. C., CXLIV, S. 395 ff. — [197] Obermayer, Ueber die Natur der Nebelkörperchen, Z. ö. G. M., 1877, S. 98 ff. — [198] W. König, Ueber den Druck in Wasserbläschen, M. Z., V, S. 109 ff. —

[199] Assman, Mikroskopische Beobachtung der Wolkenelemente auf dem Brocken, M. Z., II, S. 41 ff. — [200] R. Helmholtz, Untersuchungen über Dämpfe und Nebel, insbesondere solche von Lösungen, Berlin 1885; N. R., I, S. 69 ff. — [201] Raffles, The Darkness of London Air, N., XLIII, S 152. — [202] F. A. Russell, The Mist of London, N., XXXIX, S. 34 ff. — [203] Assmann, Mikr. Beob., S. 46. — [204] Cantoni, Igroscopi, igrometri, umidità atmosferica, Mailand 1887. — [205] Dalton, On the Constitution of mixed Elastic Fluids and the Atmosphere, J. N. P., V, S. 241 ff. — [206] G. P. W., I, S. 491 ff. — [207] E. G. Fischer, Darstellung und Kritik der Verdunstungslehre nach den neuesten, besonders den Daltonschen Versuchen, Berlin 1810. – [208] v. Lamont, Resultate aus den an der kgl. Sternwarte veranstalteten meteorologischen Untersuchungen, München 1857, S. 23 ff. — [209] Cantoni, S. 7; Mohn, S. 86 ff. — [210] H. Wild, Ueber den täglichen und jährlichen Gang der Luftfeuchtigkeit in Russland, R. M., 1875, Nr. 4. — [211] H. Meyer, Ueber den jährlichen Gang der Luftfeuchtigkeit in Norddeutschland, M. Z., II. S. 153 ff. — [212] Deneke, Ueber Luftfeuchtigkeit in geschlossenen Räumen, Göttingen 1885. — [213] Weihrauch, Ueber das Sättigungsdefizit, M. Z., II, S. 260 ff. — [214] van Bebber, S. 18 ff. — [215] Jamin, Qu'est-ce-que la rosée? L. A., 1882, S. 96 ff. — [216] Gersten, Exercitationum recentiorum circa roris meteora, Nr. I, Offenbach 1748. — [217] Wells, An Essay on Dew, London 1814. — [218] Horner, Wells' Versuch über den Tau, Zürich 1821; R. Wolf, Biographien zur Kulturgeschichte der Schweiz, II, Zürich 1859, S. 402. — [219] Jamin, S. 103. — [220] Pictet, Versuch über das Feuer, Tübingen 1790, S. 168 ff. — [221] Musschenbroek, Indroductio ad philosophiam naturalem, II, Leiden 1762, S. 992 ff. — [222] Cantoni, Sulla formazione della rugida, R. J. L., (2) XIX, S. 98 ff. – [223] Deluc, Neue Ideen etc., S. 11 ff. — [224] Aitken, On Dew, N., XXXVIII. S. 256 ff. — [225] Wollny, Untersuchungen über die Bildung und die Menge des Taus, F. A., XV, S. 111 ff. — [226] Wollny, Einfluss der Exposition auf die Feuchtigkeit des Bodens, F. A., V, S. 377 ff.; Untersuchungen über die Feuchtigkeits- und Temperaturverhältnisse des Bodens bei verschiedener Neigung des Terrains gegen die Himmelsrichtung und gegen den Horizont, F. A., X, S. 1 ff. — [227] Alvord, On Temperature Observations relative to Dew Formation, S., VIII, S. 207. — [228] R. Russell, Observations on Dew and Frost, London 1892; Tau und Reif, M. Z., X, S. 390 ff. — [229] Musschenbroek, Introductio etc., II, S. 987 ff. — [230] G. P. W., IX, 1, S. 708. — [231] R. Wolff, Die Mehltaupilze, Berlin 1875. — [232] F. Pfeiffer, Das Buch der Natur von Konrad von Megenberg, die erste Naturgeschichte in deutscher Sprache, Stuttgart 1861, S. 85. — [233] Aitken, Remarks on the Rime, T. R. S. E., XIV, S. 121 ff. — [234] Rosenberger, II, S. 281. — [235] Kämtz, Lehrb. d. Meteorologie, I, S. 363. — [236] Assmann, Mikroskopische Beobachtungen der Struktur des Reifs, Rauhreifs und Schnees, M. Z., VI, S. 339 ff. — [237] Ratzel, Die Schneedecke, besonders in deutschen Gebirgen, Stuttgart 1889, S. 106. — [238] Ebenda, S. 96. — [239] Mohr, Eisregen und Rauhfrost, A. P. C., CXXI, S. 637 ff. — [240] Schönrock-W. Köppen, Zur Frage über die Definition von Rauhfrost und Glatteis, M. Z., V., S. [75] ff. — [241] Mairan, Discours sur la glace, Bordeaux 1749. — [241] Vogelsang, Sur les crystallites, A. N. S., V, S. 56 ff.; VI, S. 223 ff.; VII, S. 385 ff. — [242] Prinz, Fleurs de glace, givre et gelée blanche, Brüssel 1895. — [243] G. P. W., III, S. 106 ff. — [244] Brun, Cristaux de givre, A. s. p. n., XXV, S. 249 ff. — [245] Grossmann-Lomas, On Hollow Pyramidal Ice Crystalls, N., 1894, S. 600 ff. — [246] Prinz, S. 6 ff. — [247] Emden, Das Gletscherkorn, St. Gallen 1890. — [248] van Bebber, S. 155 ff. — [249] van Bebber-Paromensky, Ueber die Verteilung der Nebel über der Ostsee, M. Z., I, S. 374 ff. — [250] v. Jedina, Die Nebel der Adria, M. Z., VIII, S. 346 ff. — [251] H. Meyer, Der Nebel in Deutschland, besonders an den deutschen Küsten, A. H. m. M., XVII, S. 155 ff. — [252] Mohn, S. 175 ff. — [253] Wolkenbildung, M. Z., X, S. 438; S. XXI, S. 346. — [254] Reye, Die Wirbelstürme, Tornados und Wettersäulen in der Erdatmosphäre, mit Berücksichtigung der Stürme in der Sonnenatmosphäre, Hannover 1880, S. 8 ff. — [255] W. Köppen, Erneuerung der Kumulusköpfe, M. Z., I, S. 29 ff. — [256] Möller, Umbildung von Ballenwolken in Cirrusgewölke, M. Z., VII, S. 221 ff. — [257] C. Gruber, Der Hesselberg am Frankenjura und seine südlichen Vorhöhen, Stuttgart 189?, S. 44 ff. — [258] v. Rebeur-Paschwitz, Merkwürdige Wolkenbildung auf dem Pico de Teyde auf Tenerife, M. Z., X, S. 429 ff. — [259] Schöpner, Hausschatz der Länder- und Völkerkunde, Leipzig 1858, S. 617; Mohorovičić-Hann, Interessante Wolkenbildung über der Bucht von Buccari, M. Z., VI, S. 56 ff. — [260] E. Naumann, Fuji-San, J. G. G. M., XII, S. 124 ff. — [261] v. Friesenhoff, Schwarze Wolken, M. Z., X, S. 70 ff. — [262] Kremser, Bemerkungen über die Beziehung der mittleren Bewölkung zur Zahl der heiteren und trüben Tage, M. Z., II, S. 324 ff. — [263] van Bebber, Hygien. Met., S. 159. — [264] Elfert, Die Bewölkungsverhältnisse von Mitteleuropa, Halle a. d. S. 1885. — [265] Melde, Die wolkenlosen Tage, beobachtet in den Jahren 1866—1894 an der meteorologischen Station Marburg, Marburg i. H. 1895. — [264] Die mod. Meteor., S. 123. — [265] Luke Howard, An Essay on the Modification of Clouds and the Principles of their Production, Suspension and Destruction, London 1802; N. M. E., Nr. 3. — [266] Clayton, Changes in the Definition of Clouds since Howard, A. M. J., XI, S. 83 ff. — [267] Goethes sämtliche Werke in 40 Bänden, XXXVII, Stuttgart 1869, S. 100 ff. — [268] Ebenda, S. 103. — [269] Möller, Zur Dynamik der Atmosphäre, M. Z., X, S. 175 ff. — [270] Poëy, Comment on observe les nuages, Paris 1869. — [271] Hildebrandsson, Sur la classification des nuages employée à l'observatoire météorologique d'Upsala, Upsala 1878. — [272] Weilbach, Nordeuropas skyformer og deres indelling, Kopenhagen 1881. — [273] Weihrauch, Sur les formes des nuages, Kopenhagen-Paris 1881. — [274] Ley, Note on a proposed Scheme of the upper Clouds, London 1882. — [275] Ley, Ueber die Struktur des „Cirrofilum" oder der fadenförmigen Eiswolke, M. Z., I, S. 261 ff. — [276] Ebenda, S. 270. — [277] Köppen, Einiges über Wolkenformen, M. Z., IV, S. 209 ff. — [278] Vincent, Cirrostratus et Altostratus, Brüssel 1891. — [279] Köppen, Eine Klassifikation der Cirruswolken von Rev. Cl. Ley, M. Z., VII, S. 115 ff. — [280] Abercromby-Ley, The Form of Clouds, N., XXXVII, S. 129 ff. — [281] Ebenda, S. 177. — [282] Ley, Cloudland; A Study on the Structure and Charakters of Clouds, London 1894; Hildebrandsson, Wolkenstudien von Clement Ley, M. Z., XII, S. 81 ff. – [283] W. M. Davis, The Feston-Cloud, S., VII, S. 57 ff. — [284] E. Hoppe, Bildung von Schäfchenwolken, M. Z., IV, S. 337. — [285] Láska, Ueber einen täglich-periodischen Vorgang an den Cirruswolken, M. Z., III, S. 310. — [286] van Bebber, Hygien. Met., S. 157 ff. — [287] Hildebrandsson, Wolkenstudien, S. 88. — [288] Neuhaus, Die Photographie auf Forschungsreisen und die Wolkenphotographie, Halle a. d. S. 1894. — [289] Riggenbach, Ueber Photographie der Cirruswolken, M. Z., VI, S. 30 ff.; Zur Wolkenphotographie, M. Z., VIII, S. 480. — [290] Hildebrandsson, Wolkenformen und Wolkenbilder, M. Z., VI, S. 441 ff. — [291] Singer, Atlas von Wolkenphotographien, München 1891. — [292] Manucci, Classificazione delle nubi, Pubblicazioni della Specola Vaticana, 1893, 3. Heft. — [293] Knop, Zur Höhe der Gewitterwolken, M. Z., III, S. 508 ff. — [294] A. Richter, Bestimmung der Wolkenhöhe, M, Z., I, S. 166. — [295] Sprung, Ueber die von der Naturforschenden Gesellschaft zu Danzig betriebene Messung von Wolkenhöhen, M. Z., XII, S. 306 ff. — [296] Wouvermans, Histoire de l'école géographique Anversoise, B. S. G. A., XX, S. 171. — [297] Kepleri Opera Omnia, ed. Frisch, III, Frankfurt a. M.-Erlangen 1861, S. 159. — [298] Jak. Bernoulli Opera ed. Cramer, I, Genf 1744, S. 366 ff. — [299] Grunert, Ueber Jakob Ber-

noullis Methode, die Höhe der Wolken zu bestimmen, A. M. P., II, S. 377 ff. — [300] Prestel, Einfaches Verfahren, die Höhe der Haufenwolken zu bestimmen, W. A. M. G., (2) VI, S. 111 ff. — [301] Eckholm, Ueber einige Methoden für Wolkenmessungen, M. Z., V, S. 128 ff. — [302] Riccioli, Almagestum novum astronomiam veterem novamque complectens, I, Bologna, 1651, S. 82; Jesse, Ueber einige Methoden zur Bestimmung der Höhe der Wolken, Z. ö. G. M., XIII, S. 181 ff.; Ueber die von Vettin angestellten Höhenmessungen der Wolken, Z. ö. G. M., XVII, S. 43 ff. — [303] Ekholm-Hagström, Mesures des hauteurs et des mouvements des nuages, Upsala 1885. — [304] Clayton-Fergusson, Measurements of Cloud Heights and Velocities, A. A. O. H. C., XXX, Nr. 3. — [305] Eckholm, A new Instrument for Cloud Measurement, Q. J. M. S., XIX, Nr. 85. — [306] Feussner, Ueber zwei Methoden zur Höhenmessung der Wolken, Marburg i. H. 1871. — [307] Zenker, Die photographische Beobachtung der Wolken, M. Z., I, S. 4 ff. — [308] Ekholm, Einige Bemerkungen über die Anwendung der Photogrammetrie zur Messung von Wolkenhöhen, M. Z., XI, S. 377 ff. — [309] Akerblom, Ueber die Anwendung der Photogrammeter zur Messung von Wolkenhöhen, M. Z., XI, S. 219 ff. — [310] Olsson, Einige Bemerkungen über die Berechnung photogrammetrischer Wolkenmessungen, M. Z., XII, S. 75 ff. — [311] Pollack, Zur Anwendung der Photogrammetrie in der Meteorologie, M. Z., XII, S. 35. — [312] Koppe, Photogrammetrie und internationale Wolkenmessung, Braunschweig 1897. — [313] Pouillet, Mémoires sur l'hauteur, la vitesse et la direction des nuages, C. R., XI, S. 717 ff. — [314] Hildebrandsson, Ausserordentliche Wolkenhöhe und irisierende Wolken, M. Z., XIII, S. 71 ff. — [315] Kassner, Irisierende Wolken, M. Z., XII, S. 379 ff. — [316] Grosse Höhe einer Kumuluswolke, M. Z., X, S. 40. — [317] Riggenbach, Höhenmessung der Gewitter-Kumuluswolken, M Z., VIII, S. 96 ff. — [318] Ekholm, Die Höhe der Wolken in Spitzbergen im Sommer, M. Z., V, S. 29 ff. — [319] Hagström-Falk, Wolkenmessungen im Jemtlandgebirge im Sommer 1887, M. Z., VIII, S. 397 ff. — [320] v. Bezold, Ueber Wolkenbildung, H. E., VI, S. 201 ff. — [321] v. Bezold, Zur Thermodynamik der Atmosphäre, M. Z., VI, S. 201 ff., 249 ff., 287 ff. — [322] H. Hertz, Graphische Methode zur Bestimmung der adiabatischen Zustandsänderung feuchter Luft, M. Z., I, S. 421 ff., 474 ff. — [323] Schönrock, Bildung kleiner Regenwolken, M. Z., IV, S. 460 ff. — [324] Grossmann, Eine Studie über die atmosphärische Feuchtigkeit, aus dem Archiv der deutschen Seewarte, VIII. — [325] Claydon, One the Thickness of Shower Clouds and on the Formation of Rain, Hail and Snow, M. M. M. 1886, S. 106 ff. — [326] Scholz, De figura guttae cadentis in aëre resistente, Breslau 1826. — [327] A. Bock, Ueber die Bildung des Wassertropfens in der Atmosphäre, München 1896. — [328] Krümmel, Regentropfen von ausserordentlicher Grösse, M. Z., I, S. 283 ff. — [329] Zöppritz, Exzessiver Regenfall in Ostpreussen, M. Z., II, S. 141; Hann, Ausserordentlicher Regenfall in Wien und Umgebung, M. Z., III, S. 314 ff. — [330] Newcomb, Can we make it Rain? North American Review, Oktoberheft 1891; The Literary Digest, III, S. 657 ff. — [331] Engelman, Het regt gebruyk der natur beschouwingen in een verhandeling over de sneewfiguren, Haarlem 1747. — [332] Scoresby, Voyage to the Northern Whale Fishery, deutsch von Kries, Hamburg 1825, S. 95 ff. — [333] Flammarion-Fonvielle-Glaisher-Tissandier, Voyages aériens, Paris 1869; Tyndall, Das Wasser in seinen Formen als Wolken und Flüsse, Eis und Gletscher, Leipzig 1873, S. 35 ff. — [334] Hellmann, Schneekrystalle; Beobachtungen und Studien, Berlin 1893; Study of Snow Crystalls, New York 1894. — [335] Hellmann-Sigson, Photographien von Schneekrystallen, M. Z., XI, S. 281. — [336] Kepler, Strena sive de rive sexangula, Frankfurt a. M. 1611; Opera omnia, ed. Frisch, VII, S. 715 ff. — [337] Hellmann, Schneekryst., S. 23 ff. — [338] Palagi, On the Nature of the Nebulae and Clouds, N., XXXVII, S. 404. — [339] Hellmann, S. 32 ff. — [340] G. P. W., VIII, S. 568 ff. — [341] Ratzel, Ueber Messung der Dichtigkeit des Schnees, M. Z., VI, S. 433 ff. — [342] Gube, Die Ergebnisse der Verdunstung und des Niederschlages auf der meteorologischen Station Zechen bei Guhrau, Berlin 1864, S. 25. — [343] Musschenbroek, Introductio etc., I, §. 2395. — [344] G. P. W., V, 1, S. 39 ff., 53. — [345] Ebenda, S. 41. — [346] Merian, Ueber Eisregenbildung, A. C. M., IV, S. 125 ff. — [347] Krankenhagen, Niederschläge in der Form von durchsichtigen kleinen Eiskugeln, M. Z., V, S. 241 ff. — [348] Körber, Gefrorener Regen, M. Z., V, S. 317. — [349] Pike, Three Ice-Storms, A. M. J., III, S. 32 ff. — [350] Tyndall, On Acoustic Reversibility, P. R. S, XXI, S. 159 ff.; On the Transmission of Sound by the Atmosphere, P. R. S., XXII, S. 38 ff.; A. P. C., Jubelband, S. 668 ff. — [351] G. P. W., VIII, S. 393 ff.; A. P. C., XX, S. 210 ff. — [352] Rosenberger, III, S. 755. — [353] L. Euler, Sectio quarta de motu aëris in tubis, N. C. A. P., XVI, S. 281 ff. — [354] G. P. W., III, S. 78 ff. — [355] Ebenda, S. 96. — [356] Biancani, Sphaera mundi seu cosmographia demonstrata, Bologna 1620. — [357] Hirn, Les échos multiples, M., (2) XXXVI, S. 266 ff. — [358] Arago, Sur le tonnerre, A. B. L., 1838. — [359] Reis, Das Donnergerolle und das Echo, H., II, S. 215 ff.; Láska, Das Rollen des Donners, M. Z., III, S. 33. — [360] Bessels, Die amerikanische Nordpolexpedition, Leipzig 1870, S. 257. — [361] Reis, Ungewöhnlich weite Hörbarkeit von Tönen, erklärt durch Windbrechung, H., II, S. 53 ff. — [362] H. Reuleaux, Das singende Thal von Thronecken, ein Hochwaldrätsel, Koblenz 1880. — [363] Sieger, Seeschiessen, Wasserschüsse, Nebelrülpse, Luftpuffe, Gl., LXXI, S. 333 ff. — [364] L. Weber, Ueber die sogenannten Mistpoeffers, S. N. V. S. H., XI, S. 66 ff. — [365] Graf Zeppelin, Zum sogenannten Seeschiessen, S. B. S. V., 25. Heft. — [366] C. T., VIII, S. 25 ff., XVI, S. 447 ff., 479 ff., 516 ff., 535 ff., 601 ff.; XVII, S. 4 ff., 37 ff., 99 ff., 148 ff., 183 ff., 208 ff.; N., LII, S. 650 ff.; N. T. N. J., XLIX, 190; L. 172; LII, 111; LIII, 139. — [367] Gumpert, Ueber Friedr. Roths Leben und Schriften, Buxtehude 1892, S. 19. — [368] L. Weber, S. 72. — [369] v. Fischer-Benzon, Das tönende Echo, Z. p. U., I, S. 116 ff.

Kapitel II.

Die Beobachtungs- und Berechnungsmethoden der Meteorologie.

§. 1. **Allgemeines über Instrumente.** Im Gegensatze zur allgemeinen Physik stützt sich die atmosphärische Physik weit mehr auf die Beobachtung, als auf das Experiment, wiewohl auch dieses letztere, wie wir vornehmlich in Kap. VI sehen werden,

neuerdings sehr an Bedeutung gewonnen hat. Die Instrumente und Apparate der Meteorologie dienen deshalb zum weitaus überwiegenden Teile dazu, gewisse atmosphärische Zustände mit möglichster Schärfe durch Zahlen kennzeichnen zu können. Zu den alten Hauptinstrumenten, welche seit bald 200 Jahren das notwendige Rüstzeug des Witterungsbeobachters bilden, sind in neuerer Zeit noch gar manche andere hinzugekommen, welche einer auf der Höhe der Wissenschaft stehenden meteorologischen Station erster Ordnung nicht fehlen dürfen.

Eine solche muss ausgerüstet sein sowohl mit den gewöhnlichen Instrumenten, welche vom Beobachter zu regelmässig wiederkehrenden Zeiten abgelesen werden, als auch mit Selbstregistratoren, welche den Gang eines bestimmten meteorologischen Elementes selbstthätig — automatisch — durch eine Kurve darstellen, die entweder vollkommen stetig oder, wenn diskret, doch aus sehr nahe aneinander befindlichen Punkten gebildet ist. Stehen solche zur Verfügung, so hat die Okularinspektion der Apparate mehr nur den Zweck der Kontrolle zu erfüllen.

Als meteorologische Elemente betrachten wir die folgenden: Temperatur, Luftdruck, (absolute und relative) Feuchtigkeit, Windrichtung und Windstärke, Regenmenge, Verdunstung, Bewölkungsgrösse und Sonnenscheindauer. Die zur quantitativen Bestimmung des Zahlenwertes dieser Elemente dienenden Instrumente wollen wir im folgenden nacheinander kennen lernen; das betreffende (griechische) Kunstwort wird durch Verbindung mit dem Zeitworte μετρεῖν (messen) gebildet, wogegen die einfacheren Beobachtungswerkzeuge, die nur obenhin über einen meteorologischen Faktor orientieren, einen auf das Verbum σκοπεῖν (schauen) hinweisenden Namen führen. Nur für die Bewölkungsgrösse bedarf es der instrumentellen Vorrichtung nicht; dafür genügt der Augenschein. Dagegen gibt es für Spezialuntersuchungen auch besondere Instrumente, deren dann auch eigens zu gedenken sein wird.

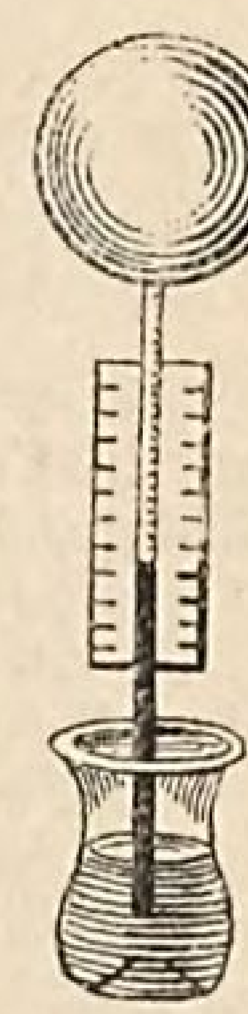
§. 2. **Thermometer.** Es wurde bereits (I, S. 9) auf die ersten Versuche der Araber, Wärmeunterschiede zu messen, aufmerksam gemacht. Eine bestimmte Gestalt nahmen diese Bestrebungen jedoch erst zu Beginn des XVI. Jahrhunderts an, wo es gelang, einfache Thermoskope zu verfertigen. Die Bemühungen, hieraus wirkliche Thermometer zu machen, waren erst etwa 100 Jahre später erfolgreich. Für die Anfangsgeschichte der Thermometer, wie auch für die der übrigen Instrumente sind Hellmanns [1] Nachweisungen wertvoll.

Die Annahme Khanikows [2], dass die Araber wirklich so weit gekommen gewesen wären, um durch Wägung den Gegensatz zwischen kälteren und wärmeren Körpern herauszufinden, wollen wir mit Rosenberger [3] dahingestellt sein lassen. Die Erfindung des ersten Thermometers wurde früher als eine strittige Sache behandelt, indem man als Konkurrenten Galilei, Santorio, Drebbel und Fludd namhaft machte, indessen sind die Geschichtschreiber der Physik dahin übereingekommen [4], dass nur der erstgenannte dieses Verdienst ernstlich für sich beanspruchen kann. Santorio hat allerdings von der medizinischen Anwendung eines primitiven Thermometers gehandelt [5], aber das betreffende Buch erschien lange nach dem Zeitpunkte, als Galilei sein Instrument erdacht hatte; übrigens waren die Wärmemesser, deren sich die Aerzte zuerst bedienten — ein paar Exemplare haben Beschreibung und Abbildung in Gerlands Bericht [6] über die internationale Ausstellung von London gefunden —, mehr Sonderbarkeiten als ernst zu nehmende Hilfsmittel klinischer Untersuchung. Ueber die Drebbelsche Legende haben Wohlwill [7] und Burckhardt [8] Licht verbreitet. Und Fludds Instrument, welches er „speculum calendarium" nennt, hat nach Kästners Mitteilungen [9] darüber nur insofern ein Recht, genannt zu werden, als es zeigt, wie unter der Einwirkung der bald steiler, bald weniger steil einfallenden Sonnenstrahlen Wasser in einer Röhre, die mit einem stets gefüllten

Gefässe in Verbindung steht, auf- und abwärts steigt. An Temperaturmessung war dabei nicht gedacht, und gerade auf sie richtete Galilei sein Hauptaugenmerk. Nach Nelli [10] und Libri [11] unterliegt es keinem Zweifel, dass Galilei 1603 dem Pater Castelli eine Mitteilung über das von ihm ersonnene Thermoskop gemacht hat; die näheren Umstände sind aus Favaros Darstellung [12] zu ersehen.

Ein Brief des besonders gut eingeweihten Viviani vom Jahre 1597 fixiert den Erfindungstermin genauer und gibt gleichzeitig Aufschluss über die Art des Instrumentes; „in questi medesimi tempi," heisst es [13], „ritrovò i termometri, cioè quegli i strumenti di vetro con acqua ed aria, per distinguer dalle mutazioni di caldo e freddo la varietà de'l temperamento de' luoghi." Unsere Fig. 7 stellt das Wesen eines solchen unvollkommenen Luftthermometers vor Augen; eine Röhre mit oben angeblasener Kugel wird in ein mit Wasser oder Weingeist gefülltes Gefäss gestellt, und die Ausdehnung oder Zusammenziehung dieser Flüssigkeit entsprach einer alternierenden Bewegung der eingeschlossenen Luft. Ein geschlossenes Thermometer, wie es für wirkliche Messungen erfordert wird, wurde bald darauf von der florentinischen „Accademia del cimento" konstruiert; Libri [14] sah ein solches, das dem Jahre 1611 entstammte, und es ist gar nicht unwahrscheinlich, dass auch bei diesem wesentlichen Fortschritte wieder Galilei die Hand im Spiele hatte. Allein wirkliche Messung war auch jetzt noch nicht möglich.

Fig. 7.



An eine solche konnte erst dann gedacht werden, als es gelungen war, das Steigen oder Fallen der Flüssigkeitssäule auf zwei an der Thermometerröhre angebrachte sogenannte Fixpunkte zu beziehen. Diese einschneidende Verbesserung, von der ab erst die wirkliche Thermometrie datiert, wurde erst gegen Ende des XVII. Jahrhunderts angeregt und noch später erst durchgeführt.

Von E. Gerland [15] erfahren wir, dass bereits Huygens mit sich über diese Notwendigkeit vollständig im reinen war, indem er in einem an Moray gerichteten Briefe darauf drang, die vagen Begriffe strenger Winterkälte und hoher Sommerwärme durch die fest bestimmten Grenzwerte der Temperatur des gefrierenden Wassers und der Temperatur des siedenden Wassers zu ersetzen; auch Fabri betonte die Notwendigkeit solcher Fixpunkte. Den Siedepunkt markierten unabhängig von einander Réaumur und Fahrenheit; über ihre bezüglichen Verdienste gibt gute Auskunft der einschlägige Artikel von Muncke [16]. Nicht minder erkannten beide die Notwendigkeit, den Frostpunkt da anzusetzen, wo die Thermometerflüssigkeit stehen blieb, wenn man die Kugel des Instrumentes in ein mit schmelzendem Eise gefülltes Gefäss eintauchte. An die Stelle des von Huygens in Aussicht genommenen Gefrierpunktes des Wassers war somit der gleichwertige, aber leichter zu ermittelnde Schmelzpunkt des Eises getreten. Réaumur nahm mit richtigem Takte diesen Punkt als Nullpunkt der Temperatur an, während Fahrenheit, durch seine Studien über Kältemischungen hiezu veranlasst, an der Konstanz des Frostpunktes zweifelte und als untersten Temperaturpunkt das Maximum der in seinem Wohnorte Danzig beobachteten Winterkälte wählte, wie sich dies in C. v. Wolfs grundlegender Abhandlung [17] über genaue Wärmemesser näher ausgeführt findet. Andererseits geht auf Fahrenheit jedoch auch eine sehr bedeutsame Vervollkommnung zurück; bis dahin war Weingeist als thermometrische Substanz fast allein im Gebrauche gewesen, und nunmehr wurde diesem das Quecksilber substituiert, welches der Bedingung, einen recht konstanten Ausdehnungskoeffizienten zu besitzen, noch besser entsprach. So werden denn auch jetzt noch, um dies gleich vorwegzunehmen, fast ausschliesslich Quecksilberthermometer verwendet, und nur, wenn es sich um sehr niedrige Temperaturen handelt, wie dies also in sehr kalten Ländern geboten erscheint, greift man auf den Alkohol als Füllflüssigkeit zurück. Ueber den Gang des Weingeistthermometers muss man sich allerdings vorher durch sorgfältige Vergleichung mit einem Quecksilber-Normalthermometer vergewissert haben [18].

Die Einteilung des Raumes zwischen Frost- und Siedepunkt konnte nur auf willkürliche Weise erfolgen. Réaumur [19] teilte den Zwischenraum in 80 gleiche Teile; der Schwede Celsius [20] trat für die bequemere Zahl 100 ein. Fahrenheit endlich nahm an, dass zwischen seinem willkürlichen Nullpunkte und demjenigen der anderen Physiker 32 gleiche Teile gelegen seien, und vom Gefrier- bis zum Siedepunkte rechnete er 180 solche Teile.

Damit ist der Uebergang von der einen Skale zu einer anderen von selbst gegeben; man hat

$$R = \frac{4}{5} C, \qquad C = \frac{5}{4} R, \qquad F = \frac{9}{4} R + 32,$$

$$R = \frac{4}{9}(F - 32), \quad C = \frac{5}{9}(F - 32), \quad F = \frac{9}{5} C + 32.$$

Der Fahrenheitschen Zahl 59° entsprechen sonach die Réaumursche Zahl 12° und die Celsiussche Zahl 15°. An Fahrenheit hält nur noch England mit merkwürdiger Zähigkeit fest, und zwar auch die Gelehrtenwelt. Das grosse Publikum im übrigen Europa ist Réaumur treu geblieben, aber für wissenschaftliche Zwecke rechnet man ausschliesslich nach den hundertteiligen oder Zenti-Graden von Celsius. Auch amtlich bürgert sich dies ein.

Wer sich mit Geschichte der Physik im XVIII. Jahrhundert beschäftigt, der weiss, dass zeitweise auch noch andere Skalen neben den genannten im Gebrauche sich befanden, ohne doch sich dauernd behaupten zu können. So hatte man Skalen von Delisle, Deluc, Hanow (I, S. 23), Micheli du Crest (I, S. 322), und diese letztere schien eine Zeit lang grossen Anklang zu finden [21]. Indessen setzte sich bald das Celsiussche Verfahren wegen seiner grossen Einfachheit durch.

Diejenige Substanz, deren Ausdehnung am gleichmässigsten erfolgt, und die deshalb für thermometrische Zwecke als die geeignetste erscheinen möchte, ist die atmosphärische Luft oder überhaupt irgend ein Gas, das nicht leicht zur Verflüssigung gebracht werden kann (vgl. I, S. 102). Gasthermometer würden also grosse Vorteile gewähren, wenn sich bequemer mit ihnen manipulieren liesse [22]. Dagegen eignen sie sich, wie u. a. von Grunmach [23] gezeigt worden ist, vorzüglich zur Prüfung der Quecksilberthermometer, die, ehe man sie in ernsten Gebrauch nimmt, auf etwaige Teilungs- und andere Fehler genau untersucht sein müssen. Vor allem kommt es auch darauf an, dass die Röhre eine exakt cylindrische Gestalt besitze; dies erkennt man am besten dadurch, dass man einen Quecksilberfaden von genau bekannter Länge in der Röhre hin und her schiebt und zusieht, ob die Endpunkte stets auf äquidistante Teilpunkte fallen; näher hat diesen einfachen Gedanken Bessel ausgeführt [24].

Auf die modernen Vervollkommnungen der theoretischen und praktischen Thermometrie, zu denen in mancher Hinsicht die eine glückliche Vereinigung physikalischer und technischer Einsichten verratende Studie [25] von Plücker und Geissler den Anstoss gegeben hat, kann hier nicht im einzelnen eingegangen werden. Grosse Verdienste hat sich darum die physikalisch-technische Reichsanstalt in Berlin erworben, innerhalb deren sich Löwenberg dieser Aufgaben besonders annahm [26]. Als eine der wichtigsten Fragen erschien von je die Herstellung guten Thermometerglases, und nach dieser Seite hin ist durch das optische Institut von Abbe und Zeiss in Jena ein grosser Erfolg erzielt worden. Nach Wiebe [27] erweisen sich die für die Exaktheit der Ablesung nachteiligen thermischen Nachwirkungen am geringsten, wenn in 100 Teilen Glas nachstehende Ingredientien enthalten sind: Kieselsäure 67,5; Natron 14; Zinkoxyd 7; Kalk 7; Thonerde 2,5; Borsäure 2%. Ihre grössten Triumphe feiert die moderne Thermometrie bei dem schwierigen Werke des Vergleichens von Masstäben, wofür die Monographie von Pernet [28] über die Bestimmung der Abweichungen verschiedener Normal-Etalons des Meters vom Pariser Originale als Muster dienen kann.

Das relativ höchste Mass von Genauigkeit wird stets dann erreicht werden, wenn man direkt ein vorher erprobtes Thermometer abliest,

welches eine passende Aufstellung oder Aufhängung — hierüber siehe den nächsten Paragraphen — erhalten hat. Es ist jedoch nicht ausgeschlossen, dass auch ohne solche Vorrichtung ein Thermometer die wahre Temperatur der Luft sehr präzis angibt. Vorab für den wissenschaftlichen Reisenden ist es wichtig, eine der Pflichten, welche ihm obliegen, auf einfache Weise erledigen zu können.

§. 3. **Ermittelung der wahren Lufttemperatur.** „In der Meteorologie,“ sagt Hann [29], „versteht man unter Temperatur eines Ortes das Mass der Luftwärme, wie es erhalten wird durch zweckmässig über die Zeit verteilte Beobachtungen an einem frei in der Luft aufgestellten, aber gegen die direkte Wärmestrahlung der Sonne, sowie gegen die Strahlung anderer Gegenstände geschützten Thermometer.“ In erster Linie muss demgemäss das Thermometer im Schatten, an der Nordseite eines genügend hohen Gebäudes, seinen Platz finden; Quellen oder Brunnen, in deren Nähe es ohne die Entwickelung einer oft namhaften Verdunstungskälte nicht abgehen kann, müssen gemieden werden. Gewöhnlich wird das Instrument in einen Schutzständer eingeschlossen, doch gehen über den Wert, wie über die beste Einrichtung solcher Hüllen die Ansichten einigermassen auseinander.

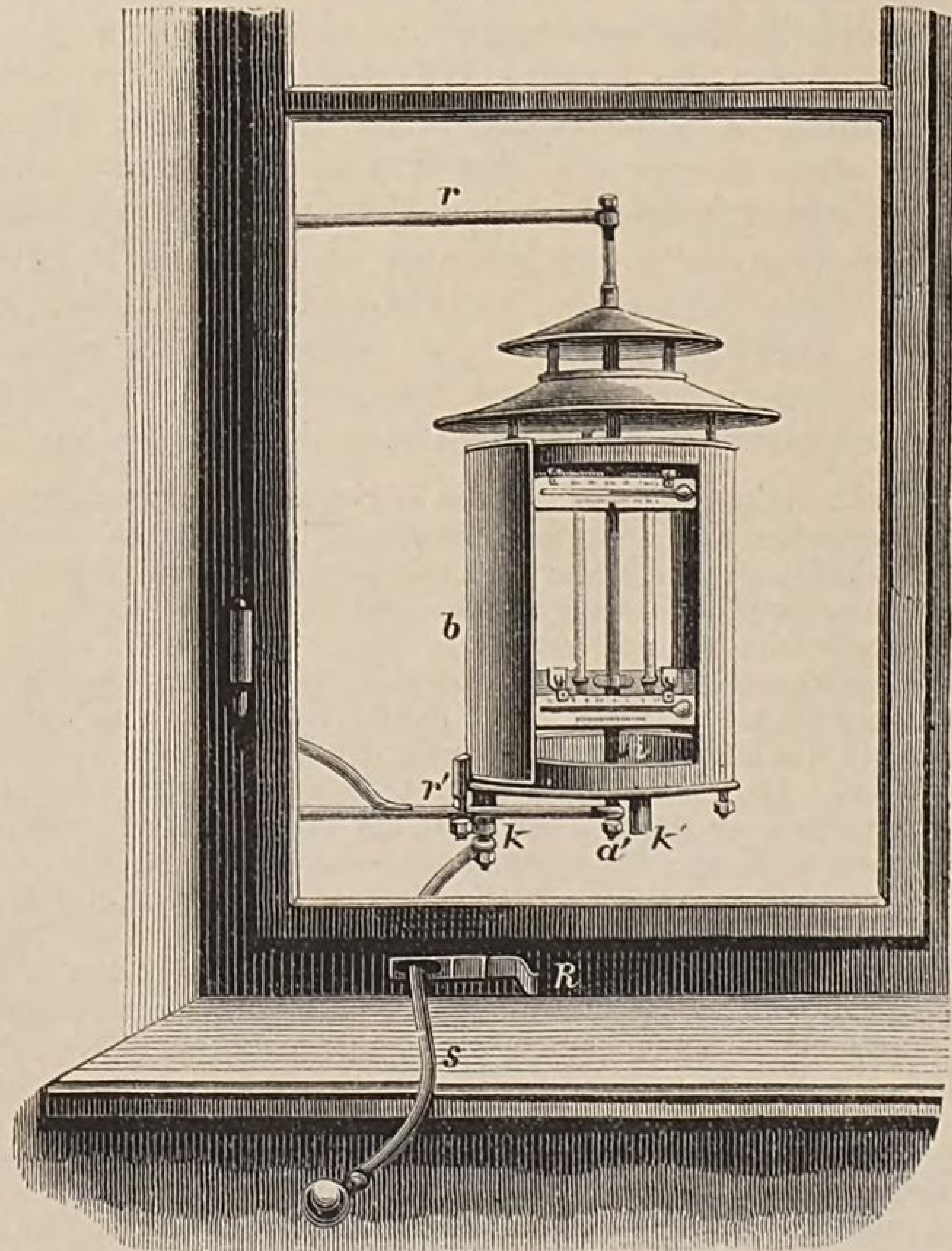
Lange war am meisten beliebt die von Wild angegebene Schutzvorrichtung, welche bei den russischen Stationen ihre Schuldigkeit gethan zu haben schien [30] und von ihrem Erfinder als die beste Garantie für die Bestimmung der wirklichen Lufttemperatur warm empfohlen wurde [31], obwohl gleich anfangs auch Einwände geltend gemacht wurden, so von dem Amerikaner Hazen [32]. In Fig. 8 sieht man ein Wildsches Thermometergehäuse vor sich (die beigesetzten Buchstaben sind für gegenwärtigen Zweck belanglos). Der Blechcylinder muss doppelt und durchbrochen sein, damit die Luft ungehinderten Zutritt hat und die Thermometerkugel frei umspielen kann. Als eine Gefahr betrachtet auch Wild eine etwaige Stagnation der Luft, weshalb er sogar vorschlug, ein kleines Schaufelrad in der Nähe anzubringen und durch dessen Umdrehung eine lebhaftere Luftzirkulation zu bewerkstelligen. Weiter riet er an, gleichzeitig ein Blankkugel- und ein Schwarzkugelthermometer, d. h. ein Thermometer mit berusster Kugel, zu beobachten. Eine solche Fläche schluckt alle an sie herantretenden Wärmestrahlen bei weitem begieriger auf, als es eine ungeschwärzte thut, und deshalb erhält das Schwarzkugelthermometer immer einen weit höheren Stand. Eine ganz einfache Formel gestattet, die wahre Lufttemperatur direkt aus den Angaben zweier solcher Thermometer herzuleiten.

An dem ganzen Prinzipe, dessen Wesen wir soeben darlegten, hat W. Köppen [33] eindringende Kritik geübt. Eine gleich umfassende und tiefe Untersuchung über das, was man als Strahlungsfehler bezeichnen kann, war vorher noch nie geführt worden, und insbesondere stellte sich heraus, dass bei Anwendung eines grossen Schutzständers dieser Fehler auch unerwartet grosse Werte annahm. Alkoholthermometer wurden allerdings noch ungünstiger als Quecksilberthermometer beeinflusst. Im ganzen muss man hiernach schliessen, dass die Gehäuse, selbst wenn sich deren Dimensionen bis zu wirklichen Schutzhütten erweitern, nicht jenen Dienst leisten, den man von ihnen erhofft hatte, und zwar gilt dies nicht etwa bloss von der Wildschen Aufstellung, sondern auch von anderen Einrichtungen, wie solche durch Aitken, Stow, Symons, Hill, Doberck, Stevenson u. a. — letztere waren in Grossbritannien verbreitet — getroffen worden waren. Von eigentlichem Nutzen kann bei derartigen Mitteln, das Thermometer gegen Strahlungen zu schützen, kaum die Rede sein, eher sogar von Schaden.

Es empfiehlt sich daher, dem Thermometer einfach einen gesicherten Stand im Schatten anzuweisen, wenn man nicht ein anderes Mittel vorzieht, wodurch der stete Kontakt der Kugel mit der umgebenden Luft noch mehr verbürgt wird. Anknüpfend an eine schon

bei Saussure nachzuweisende Wahrnehmung war mehrfach das sogenannte Schleuderthermometer empfohlen worden [34], und den gleichen Gedanken verwertete Assmann [35] dann auch sofort im Schleuderpsychrometer. Besser noch wird jedoch derselbe Zweck erreicht, wenn man an das in Ruhe verbleibende Instrument einen stetigen Strom sich unausgesetzt erneuernder Luft gelangen lässt, wie sich dies bei dem sogenannten Aspirationsthermometer als sehr zweckmässig erfunden hat.

Fig. 8.



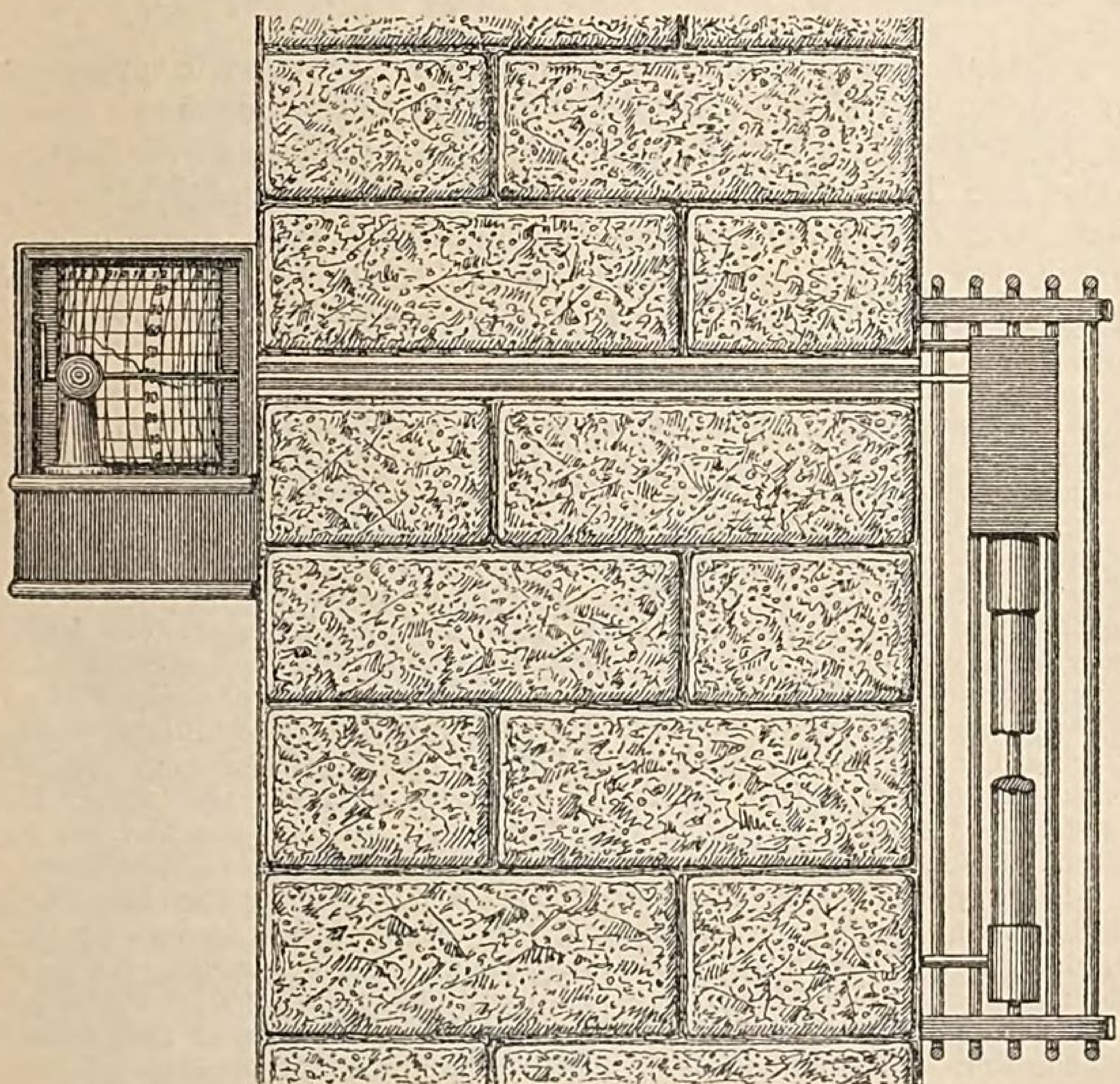
Im ersteren Falle befestigt man das Thermometer — oder zwei nebeneinander befindliche — an einem Faden und bewegt diesen im Kreise rasch mehrmals hin und her, worauf die Ablesung der Temperatur sattfindet. J. Kuntze hat sich in diesem Sinne ein Drehthermometer patentieren lassen [36]. Statt aber das Thermometer selbst zu bewegen, ist es doch wohl einfacher, die Luft sich bewegen zu lassen, und darum verfiel Assmann, nachdem er zahlreiche Versuche angestellt hatte, darauf [37], das Thermometer in eine hohle Vertikalröhre zu stecken und durch einen Aspirator Luft in diese Röhre hineinzusaugen. In der Sekunde aspiriert der kleine hiezu dienende Balg etwa 150 ccm Luft, die mit mässiger Geschwindigkeit am Thermometer vorüberstreicht. Der Strahlungsbetrag der Aussenseite kommt kaum in Betracht, und so leistet das Assmannsche Aspirationsthermometer vielfach die besten Dienste, insbesondere auch bei Luftfahrten.

§. 4. **Thermische Registratoren.** Einen thermischen Selbstregistrator hat vielleicht zuerst Kreil angegeben [38], doch war

demselben jedenfalls der auf gleichem Prinzipe beruhende Apparat v. Lamonts [39] vorzuziehen. Ueber die älteren Phasen dieses Teiles der meteorologischen Instrumentenlehre gibt gute Auskunft eine Abhandlung von Neubert [40]. Späterhin sah man für den Zweck der Selbstaufzeichnung zumeist von den gewöhnlichen Thermometerformen ab und liess an deren Stelle die handlicheren Metallthermometer treten.

Ursprünglich war die Verwendung der Thatsache, dass auch Metallstäben eine ziemlich konstante Ausdehnung bei zunehmender Wärme eigen ist, nur für sehr hohe Temperaturen ins Auge gefasst worden, indem man sogenannte Pyrometer (πῦρ, Feuer) herstellte. Von Daniell, Guyton de Morveau, Mill, A. Neumann und zumal von Prinsep wurden derartige Instrumente in Vorschlag gebracht [41]; Fitzgerald [42] ist der Erfinder eines eigentlichen Metallthermometers. In den sechziger Jahren war als Thermometrograph — oder bloss Thermograph — sehr geschätzt das Hipp-Wildsche Metallthermometer, von welchem J. Müller [43] eine höchst eingehende Schilderung entworfen hat. Das eine Ende einer vielfach gewundenen Metallspirale war fest eingeklemmt, während das andere den Schreibstift trug, der auf endlosem Papiere die Kurve des Temperaturganges in einer Reihe von nahe aneinander liegenden Stichpunkten verzeichnete. Neuerdings ist auch eine ältere Idee v. Lamonts (s. o.) praktisch mit grossem Glück verwertet worden. Sendtner und C. Lang fügten in der Art, wie es Fig. 9 zur Anschauung bringt, Röhren aus einer gewissen Metallegierung von gleichmässiger Ausdehnung in einen thermisch kompensierten Rahmen ein, so dass das eine Ende des Thermometerstabes als fest fixiert gelten konnte,

Fig. 9.



während das andere auf der Registriertrommel den Schreibstift hingleiten liess [44]. Die Einteilung des Cylinders ist dieselbe, wie sie von dem französischen Mechaniker Richard (s. u.) als erprobt befunden worden war. Im allgemeinen lässt die Lösung des Problemes der Metallthermometrie noch manches zu wünschen übrig. Hirsch hat darüber der internationalen Erdmessungskommission (I, S. 155) Bericht erstattet [45]. Nach Vogler und Heinemann muss man schliessen [46], dass weder Zink noch Aluminium sich als Substanz der Messingstäbe empfehlen, weil die thermischen Nachwirkungen, sobald es sich um ziemlich grosse Temperaturschwankungen handelt, eine die Genauigkeit gefährdende Grösse erlangen.

Eine andere Methode thermischer Registrierung wurde von P. Schreiber [47] in die Wissenschaft eingeführt, nämlich die Wägungsmethode. Um Wiederholungen zu vermeiden, werden wir diesem Verfahren besser erst bei der Luftschweremessung, bei welcher dasselbe in ausgedehntem Masse angewendet wird, gerecht zu werden suchen.

An ein selbständiges Diagramm der Temperaturveränderungen kann nur eine trefflich ausgestattete Vollstation denken. Aber für jeden Beobachter ist es von hohem Werte, wenigstens die extremen Werte der Temperatur für einen gegebenen Zeitraum zu kennen, und dieses Ziel kann ohne mühsame oder kostspielige Vorkehrungen erreicht werden. Man bedient sich dazu der Maximum- und Minimumthermometer, auch Extremthermometer genannt.

Als Erfinder einer ebenso einfachen wie zweckentsprechenden Vorrichtung sind Six [48] und Rutherford [49] zu nennen; wieviel Verdienst dem einen und dem anderen Erfinder zugehört, lässt sich heute nicht mehr ausmachen. Six hatte ursprünglich beide Absichten durch einen einzigen Apparat zu erreichen gesucht, aber später adoptierte man zumeist die Rutherfordsche Anordnung. Auf demselben Brette sind ein Quecksilber- und ein Weingeistthermometer mit horizontal liegenden Röhren entgegengesetzt gerichtet angebracht. Vor dem Quecksilbermeniskus liegt ein cylindrisches Stückchen Stahl. Zwischen Alkohol und Glas besteht kapillare Anziehung, und deshalb ist die Endfläche der Flüssigkeitssäule konkav gewölbt; das nach innen konvexe Flüssigkeitshäutchen kann einen Glasfaden, an dessen oberes Ende ein Kügelchen angeschmolzen ist, vor sich herschieben. Wenn man also beide Thermometer sich selber überlässt und erst nach Umfluss des gewünschten Zeitraumes wieder betrachtet, so markiert der Stahlstift die höchste, die Glasperle die niedrigste in der Zwischenzeit eingetretene Temperatur. Zur Neuadjustierung für eine weitere Beobachtung dient ein Magnet, mittelst dessen der Stahlstift so weit herangeführt wird, dass er den Meniskus der Quecksilbersäule gerade berührt. Kappellers Instrument greift, nach Breitenlohners Beschreibung [50], wieder auf die Kombination mittelst einer Doppelröhre zurück; ein kapillarer Quecksilberfaden trennt das Rohr des Maximum- von dem des Minimumthermometers.

Nimmt man das arithmetische Mittel aus den beiden Extremtemperaturen als Mass der Mitteltemperatur des in Rede stehenden Zeitraumes, so ist das für eine erste Annäherung ausreichend. Zuverlässiger gestaltet sich die Ermittelung der Durchschnittstemperatur nach dem Verfahren von Müller-Erzbach [51].

Eine Glasflasche wird mit konzentrierter Schwefelsäure gefüllt und durch einen fest eingeschliffenen Glasstöpsel verschlossen. Im Inneren der Flasche befindet sich eine oben offene, Wasser enthaltende Kugelröhre. Das Wasser verdunstet, ohne dass der Feuchtigkeitszustand der freien Luft auf den Verdunstungsakt merklich einwirkt, und aus dem Gewichtsverluste des Wassers berechnet sich nach einer einfachen Formel die Mitteltemperatur des Versuchszeitraumes. Grossmann [52] beobachtete an einem Schwefelkohlenstoff-Apparate und bekam durch Vergleich desselben mit einem Hippschen Thermographen recht zufriedenstellende

Ergebnisse. Man bezeichnet einen solchen Apparat auch als Thermointegrator, weil durch denselben gewissermassen die Summe aus unendlich vielen einzelnen Temperaturmessungen gebildet und dann in die Summe mit der Anzahl dieser Messungen hineindividiert wird.

§. 5. **Quecksilberbarometer.** Die Luft ist schwer und drückt deshalb auf jeden ihrer Einwirkung ausgesetzten Körper. Das Mass dieser Kraft, des Luftdruckes, ist die wechselnde Höhe einer — gegen thermische Beeinflussung geschützten — Flüssigkeitssäule, und das Instrument, welches den Luftdruck zu messen erlaubt, heisst Barometer (βάρος, Schwere]. Schon jetzt sei bemerkt, dass es auch andere Hilfsmittel der Luftschweremessung gibt, und dieser soll in §. 6 gedacht werden.

Ein Baroskop (S. 48) suchte O. v. Guericke herzustellen, indem er eine möglichst gut ausgepumpte Kupferhohlkugel an einem Wagearme aufhing und die alternierenden Bewegungen des Wagebalkens verfolgte [53], und auch eine Art Wasserbarometer finden wir bei dem Magdeburger Physiker vor. Er soll mit dessen Hilfe am 9. Dezember 1660 einen Sturm prognostiziert haben [54]. Erfolgreicher waren die Bemühungen Torricellis, der an die von seinem Lehrer Galilei angestellten Betrachtungen [55] über das Aufsteigen des Wassers in Pumpen anknüpfte. Den alten „Horror vacui" des Aristoteles verwerfend, erkannte Torricelli [56], dass die Steighöhen h und h' zweier Flüssigkeiten von verschiedenen spezifischen Gewichten s und s' durch die Proportion $h : h' = s' : s$ bestimmt seien. Das Produkt Steighöhe mal Dichte erwies sich als konstant. Nun war, was Torricelli 1664 in einem Briefe an Ricci andeutete [57], die Konstruktion eines Veränderungen im Zustande und im Drucke der Atmosphäre anzeigenden Instrumentes von selbst gegeben und zugleich bewiesen, dass dieses Instrument um so handlicher sein müsse, je spezifisch schwerer die zur Demonstration gewählte Flüssigkeit sei. Das erste Quecksilberbarometer wurde daraufhin von Torricellis Freunde Viviani wirklich angefertigt. Daneben hat es in früherer Zeit allerdings auch Wasserbarometer von ganz ungeheuerlichen Dimensionen gegeben, die jedoch mehr nur eine Kuriosität darstellten; es liegen dafür die Zeugnisse von Schott [58] und Kästner [59] vor. Auch Glyzerinbarometer sind in England in Gebrauch genommen worden [60], wie denn ein solches vor einiger Zeit von Cetti der Barometerausstellung übergeben worden war [61], welche die „Royal Meteorological Society" in London veranstaltet hatte.

Dem gegenüber bleibt das Quecksilberbarometer eines der Hauptinstrumente der modernen Meteorologie und in erster Linie der Witterungskunde, obgleich es — s. u. in Kap. X — ganz verfehlt wäre, dasselbe schlechtweg, wie es so oft geschieht, als Wetterglas ansprechen zu wollen. Ein gläsernes, kalibriertes Cylinderrohr wird ausgekocht und sorgfältig mit Quecksilber gefüllt, so dass keine Luft mit eindringen kann; verschliesst man dann mit dem Finger hermetisch das freie Ende, bringt das Rohr, nachdem es umgekehrt ward, mit der Oeffnung unter die Oberfläche eines mit Quecksilber gefüllten Gefässes und zieht nunmehr den Finger weg, so fällt die Flüssigkeit im Rohre, und damit ist die Möglichkeit gegeben, den Luftdruck direkt zu messen. Das Gewicht der eingeschlossenen Quecksilbersäule äquilibriert das Gewicht der auf der freien Flüssigkeitsoberfläche lastenden Luft. Die Säule steigt oder sinkt, je nachdem der Luftdruck zu- oder abnimmt.

Der Raum oberhalb der Quecksilbersäule, die Torricellische Leere, ist absolut luftfrei, im Gegensatze zur Guerickeschen Leere im Rezipienten einer Luftpumpe; durch Pumpen kann die Dichte der Luft zwar auf jeden beliebigen

Grad herabgemindert, niemals aber ganz zu Null gemacht werden. Nur Quecksilberdämpfe sammeln sich im fraglichen Raume an; die Abwesenheit atmosphärischer Luft kann mittelst der von Grunmach [62] angegebenen Versuche — mit Geisslerschen Röhren — nachgewiesen werden.

Die Anbringung einer Skale am Barometerrohre kann an und für sich willkürlich erfolgen. Früher betrug der Abstand zweier konsekutiver Teilstriche meistenteils eine Pariser Linie, gegenwärtig beträgt er ein Millimeter. Als Normaldruck bezeichnet man gewöhnlich (I, S. 356) eine Höhe der Säule von 760 mm.

In früherer Zeit wurde viel am Prinzipe des Barometers herum experimentiert, ohne dass die Abänderungen einen dauernden Erfolg zu erringen vermocht hätten. Nur darin kennzeichnete sich ein solcher, dass mit dem zuerst allein gebrauchten Gefäss- oder Phiolenbarometer das aus einem U-Rohre mit langem und kurzem Schenkel bestehende Heberbarometer konkurrierte. Muncke hat im Artikel „Barometer“ des Gehlerschen Wörterbuches eine interessante Uebersicht über die erwähnten Bestrebungen gegeben.

Huygens' Doppelbarometer [63], Hookes Radbarometer [64], Morelands Schnellwagenbarometer [65] und manche andere Vorrichtung, wie solche u. a. Amontons [66] beschrieb, blieben ephemere Erscheinungen, da die vermeintlichen Vorteile durch die Komplikation der Einrichtung mehr denn aufgewogen wurden. Von Anfang an dachte man daran, Reisebarometer anzufertigen, welche den grossen aus jedem Transporte entspringenden Schwierigkeiten besser als die gewöhnlichen Instrumente gewachsen sein sollten. Ein solches rührt z. B. von Gay-Lussac [67] her. Noch besser jedoch wird der Reisende fahren, der sich des Ramsden-Fortinschen Gefässbarometers mit beweglichem Boden bedient, dessen allmähliche Vervollkommnung ebenfalls bei Muncke [68] sich sehr gut dargestellt findet. Der Boden des Gefässes ist ein lederner Beutel, dessen Umfang durch eine unten angebrachte Schraube beliebig verändert werden kann; von oben ragt in das Gefäss eine feine Spitze hinein, und in dem Augenblicke, in dem das vom Quecksilber reflektierte Bild der Elfenbeinspitze mit dieser selbst zusammenfällt, ist die Ablesung vorzunehmen. Auch von H. Wild [69] liegt eine mehrfach erprobte Modifikation des Fortinschen Reisebarometers vor, und endlich ist noch der Seebarometer [70] zu gedenken. Es sind dies Gefässbarometer, deren Röhre nur am oberen Teile die Weite eines gewöhnlichen Barometers besitzt, während der übrige Teil stark verengert wurde.

Die Barometerröhre muss mindestens 8 bis 10 mm im Lichten haben, weil sonst kapillare Störungen sich geltend machen würden. Ein Instrument, welches darauf Anspruch erhebt, als Normalbarometer einer Hauptstation zu dienen, ist mit Nonius versehen, so dass am oberen Ende der Säule, wie auch am Meniskus des offenen Schenkels — wenn man Heberbarometern den Vorzug gibt — eine Ablesung bis auf kleine Bruchteile eines Millimeters ermöglicht wird. Am Resultate ist dann noch die Temperaturkorrektion anzubringen, auf welche, wie wir von Rosenberger [71] erfahren, erstmalig Amontons aufmerksam gemacht hat. Unter b_0 den auf die Normaltemperatur 0° reduzierten Barometerstand verstanden, welcher dem bei t° abgelesenen Stande b entspricht, hat man, falls noch α (= 0,00018) den Ausdehnungskoeffizienten des Quecksilbers vorstellt,

$$b_0 = \frac{b}{1+\alpha t} = b - \frac{b\alpha t}{1+\alpha t} = b\,(1-\alpha t);$$

allerdings ist der Schlusswert nur ein approximativer, indem die Division $x : (1+x)$ den Quotienten $(x - x^2 + x^3 - \ldots)$ ergibt, während die Potenzen von x verschwindend klein sind. Sehr empfehlenswert sind auch Gefässbarometer mit reduzierter Skale.

§. 6. **Federbarometer.** Anscheinend mit einer einzigen Ausnahme liegt sämtlichen von der Verwendung flüssiger Körper absehenden barometrischen Vorrichtungen das gemeinsame Prinzip zu Grunde, den Druck der Luft auf elastische Körper wirken zu lassen

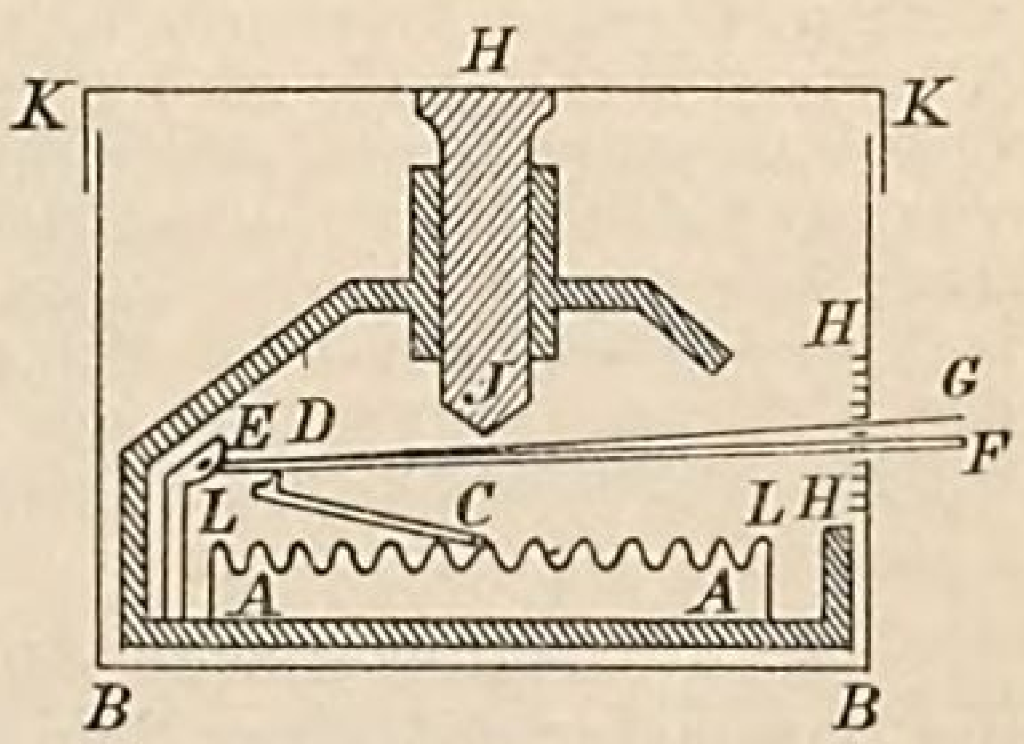
und die Gestaltveränderungen letzterer der Messung zu unterstellen. Man hat somit ein Recht, ganz allgemein von Federbarometern zu sprechen. Auch die Worte Aneroid- und Holosterikbarometer werden gebraucht; die Etymologie des ersteren Wortes (νηρός, feucht; α privativum), welches von Vidi 1847 eingeführt worden sein dürfte [72], ist philologisch angreifbar, während Holosterik (ὅλος, ganz oder massiv; στερεός fest) darauf hinweist, dass man es mit einem ganz aus Festkörpern bestehenden Apparate zu thun habe.

Stevenson wollte [73], diese Ausnahme meinten wir oben, Dichteschwankungen — und damit auch Druckschwankungen — der Luft durch die Aenderungen erkennen, welche der Brechungsindex eines aus Glas in Luft übertretenden Lichtstrahles erleidet. Praktische Konsequenzen dürfte die theoretisch unangreifbare Idee kaum haben. Eher freilich noch, als diejenige von Boys [74], solche Schwankungen akustisch messbar zu machen. Richtig ist zwar, dass unser Gehörorgan auf rasche Druckveränderungen der umgebenden Atmosphäre reagiert; jeder Luftschiffer erinnert sich, dass rascher Fall des Ballons Ohrensausen und Gehörstörungen bewirkt, und Forster hat [75] die hierher gehörigen Fragen eingehend untersucht. Allein zur Messung sind die menschlichen Organe ganz und gar unzulänglich.

An ein Holosterik hat zweifellos schon Leibniz gedacht, denn er schrieb im Juni 1697 an Papin [76]: „On me parle d'un baromètre portatif avec du mercure, je crois que on en pourroit faire sans mercure par une manière de souflet bien ferme ou à la façon d'une pompe." Zur Verwirklichung gelangte der flüchtig hingeworfene Gedanke nicht. Es blieb, wie bemerkt, dem Italiener Vidi und dem Franzosen Bourdon vorbehalten, wirkliche Federbarometer in die Praxis einzuführen; von deutschen Gelehrten scheint sich zuerst Garthe [77] der neuen Erfindung angenommen zu haben. Seitdem ist aber, zumal bei uns, die Litteratur über solche Instrumente eine sehr reichhaltige geworden; es sei nur auf die Arbeiten von Höltschl [78], W. Jordan [79] und Koppe [80], denen noch manch andere anzureihen wäre, verwiesen.

Auf die Vidi-Naudetsche Konstruktionsmanier [81], welche eine Zeit lang durch andere Grundsätze verdrängt zu sein schien, kommt man neuerdings wieder mit Vorliebe zurück. Eine von elastischen Metallwänden eingeschlossene, luftleer gemachte und luftdicht verschlossene Büchse ist in eine cylindrische Umhüllung eingeschlossen. Die obere Deckenlamelle wird durch stärkeren Luftdruck nach abwärts bewegt, während sie bei Nachlass des Druckes nach aufwärts federt, und diese alternierende Bewegung wird durch ein Hebelwerk auf einen Zeiger übertragen, der über einer Skale spielt. Diese Uebertragung hat wegen der mancherlei Reibungen ihre Bedenken, und Goldschmids Fühlfederbarometer (Fig. 10) ist dem Originale vorzuziehen. Das Bourdonsche Röhrenbarometer ist wegen seiner gefälligen Form sehr beliebt bei allen denen, welche das Barometer als Wetterverkündiger oder als schätzbaren Ratgeber des Hochtouristen in Ehren zu halten pflegen.

Fig. 10.



A (Fig. 10) ist die federnde Büchse, deren unterer Teil mit dem Boden BB des Gehäuses in fester Verbindung steht. An die obere Lamelle LL legt sich bei C ein Arm CD an, dessen Endschneide D gegen den Winkelhebel EF drückt.

Der Drehpunkt des letzteren befindet sich in E, und da also der eine Hebelarm sehr kurz ist, so wird der Endpunkt des anderen auch bei kleinen Druckunterschieden noch sehr kräftige Bewegungen machen. Die Mikrometerschraube HJ berührt den längeren Arm bei J, und da dem letzteren noch die elastische Fühlfeder DG aufgeschraubt ist, so kann man die Umdrehung der Schraube HJ aufs genaueste regulieren; es muss eben F mit G ganz genau koinzidieren, wenn die Drehung aufhören soll. Bei FG ist ein Höhenmasstab HH angebracht, und die Teile der Umdrehung werden durch die Trommelteilung KK gemessen.

Als Verbesserungen des Röhrenbarometers — einer luftleeren, in der Mitte befestigten Metallröhre von einem Zentriwinkel von etwa 330°, deren Enden bei zunehmendem Drucke sich nähern, bei abnehmendem auseinanderweichen — können die Variationsbarometer von Kohlrausch [82] und Röntgen [83] betrachtet werden. Im ersteren Falle ist das eine Ende eines Bourdonschen Metallringes an einem Halter fest angeschraubt, während das andere an einen kleinen Spiegel stösst, der selbst wieder an einem Streifchen Pendelstahl hängt. An dem Spiegel ist ein Flügel befestigt, der die Schwingungen dämpfen soll und zu dem Ende sich in Glyzerin bewegt. Eine Poggendorffsche Spiegelablesung macht es dem Beobachter möglich, auch sehr kleine Luftdruckvariationen noch messend zu verfolgen.

Die Federbarometer gewähren, den Quecksilberbarometern gegenüber, grosse Vorteile, aber ein grosser Uebelstand darf dabei nicht ausser acht gelassen werden: Aneroide sind oft unberechenbar, launisch, und es ist nicht immer leicht, ihren Launen auf den Grund zu kommen. Vor allem treten oft unerwartete und plötzliche Kundgebungen von elastischer Nachwirkung zu Tage, und auch an anderweiten Fehlerquellen ist kein Mangel.

Teilweise können die Fehler ersterwähnter Art durch die Massnahmen von Schwirkus [84] bekämpft werden, der für die Flächenentlastung das Zusammenwirken zweier Büchsen anrät. Die theoretische Seite der Frage birgt ungeachtet der Untersuchungen von Kohlrausch, Boltzmann, O. E. Meyer, Hesehus u. a. noch viele Rätsel in sich [85]. Es scheint, dass, wenn auf einen nachgiebigen Körper zwei Impulse A und B, der zweitgenannte später, einwirken, deren jeder eine Deformation in entgegengesetztem Sinne zuwege bringen würde, der Körper zuerst auf B reagiert, bald aber, anscheinend freiwillig, seine Bewegung einstellt und nach kurzer Ruhepause dem Impulse A Folge leistet. Die Temperaturkorrektionen sind von Jelinek [86] und Jordan [87] ausführlich behandelt worden, und ebenso die Teilungsberichtigungen [88]; dabei ist zu bemerken, dass ein Holosterik stets nur durch Vergleichung mit einem Quecksilber-Normalbarometer graduiert und geprüft werden darf. Ueber die Prinzipien der Aneroidvergleichung, deren praktischer Bethätigung auch vorzugsweise Luftpumpenversuche dienen, verbreitet sich eingehend P. Schreiber [89]. Man hat sich auch stets gegenwärtig zu halten, dass sowohl die Fehler als auch die Korrektionen in hohem Maſse von der Zeit sich abhängig zeigen [90]. Der übernächste Paragraph, der wichtigsten Anwendung der Aneroide gewidmet, wird uns von selbst dazu nötigen, nochmals auf den Gegenstand zurückzukommen.

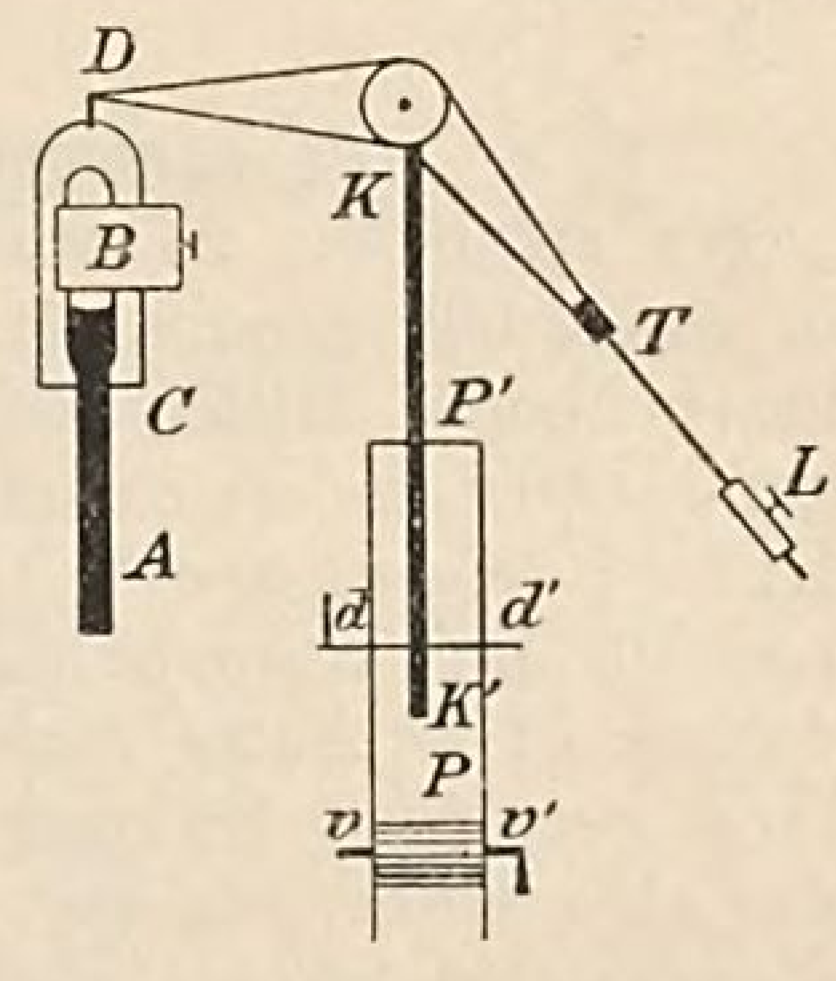
§. 7. **Automatische Aufzeichnung des Luftdruckes.** Der Gedanke, die Barometer mit einer Registriervorrichtung zu versehen, ist verhältnismässig früh aufgetaucht, und Poggendorff [91] war bereits in der Lage, mehrere dahin zielende Mechanismen zusammenzustellen. Dass z. B. ein Aneroid selbstthätig gemacht werden kann, ist leicht einzusehen, denn man braucht bloss das Zeigerende mit einem Griffel zu versehen, dessen Spitze auf einem stetig abrollenden Papierstreifen dahingleitet. Es sei nach dieser Seite hin auf eine Abhandlung von Schultze [92] hingedeutet. Im allgemeinen jedoch gibt man, wenn es sich um automatisch wirkende Barometer, d. h. um Barographen, handelt, dem Quecksilberbarometer den Vorzug, indem man allerdings

nicht sowohl die Länge der Säule als vielmehr das veränderliche Gewicht einer Quecksilbermasse zum Kriterium der in der Atmosphäre vor sich gehenden Druckveränderungen sich ausersieht und die Gewichtsschwankungen sich selbst aufschreiben lässt.

Verdienstlich ist auf diesem Gebiete P. Schreiber vorgegangen, der vom Anfange seiner wissenschaftlichen Laufbahn an immer wieder auf dieses barographische Prinzip zurückkam [93]. Für die meteorologische Praxis kommt zumeist der billige und brauchbare Richardsche Barograph in Betracht, der in die Gruppe der Federbarometer gehört und von den Luftschiffern gerne mitgenommen wird, weil er sofort die erreichte Höhe (s. in §. 8) abzulesen gestattet. Genaue Vergleichung mit einem Quecksilberbarometer ergab allerdings Sprung [94], dass die elastischen und thermischen Nachwirkungen oft etwas gross ausfielen, aber trotzdem wird sich der Apparat stets zu behaupten wissen, zumal da Hann ein Mittel gefunden hat [95], die Temperatur gleichzeitig registrieren zu lassen, so dass also die entsprechende Korrektion leichter angebracht werden kann. Die deutsche Seewarte in Hamburg arbeitete einige Jahre mit dem von Moreland (S. 56) erfundenen Winkelhebelbarographen, der jedoch durch die Untersuchung Eylerts [96] als nicht voll zweckentsprechend befunden wurde; günstiger fiel Grossmanns Urteil [97] über die Konstruktion Moreland-Fuess aus, falls nur jähe Temperaturveränderungen in der nächsten Umgebung hintangehalten wurden. In theoretischer Beziehung hat alle bei einem Wagebarometer in Betracht kommenden Umstände Sprung [98] an der Hand der mathematischen Analyse gründlich erörtert.

Die Zurückführung der Barometerschwankungen auf die alternierenden Bewegungen eines Winkelhebels, wie sie von Ramazzini [99], von Moreland [100] und von dem deutschen Physiker Luz [101] schon vor zweihundert und hundert Jahren dem Prinzip nach als möglich erkannt worden war, wird in Fig. 11, welche wesentlich dem Secchischen Registrierungsbarometer [102] entspricht, zu versinnlichen versucht. Die mit Quecksilber gefüllte Röhre A taucht unten, in eine Spitze ausgezogen, in eine Quecksilberwanne von quadratischem Querschnitte ein, während sie sich oben zu einem Gefässe B erweitert, und dieses ist dem Bügel C eingefügt, mittelst dessen das Ganze an dem kürzeren Hebelarme D einer Zeigerwage hängt. K ist der Drehpunkt, T der längere Arm, der durch das Laufgewicht L in seiner Grösse beliebig verändert werden kann. Eine dünne, federnde Metallschiene KK' ist gleichfalls in K vertikal nach unten befestigt, und in K' ist — senkrecht zur Zeichnungsebene — eine Nadel angebracht; die Schiene wird durch den Hebel dd' in äquidistanten Zeitpunkten nach unten gedrückt, und die Nadel macht einen Stich in den von der Walze VV' ablaufenden Papierstreifen PP'. Wäre der Luftdruck immer derselbe, so würden alle diese Stichpunkte in einer geraden Linie liegen; je nachdem sich aber der das Quecksilbergewicht in seinem Normalstande äquilibrierende Hebelarm T hebt oder senkt, bilden die erwähnten Punkte in ihrer Gesamtheit eine krumme Linie, die uns nach gewissen Reduktionen die stetige Variabilität des Barometerstandes vor Augen stellt. Doch ist der Secchische Apparat namentlich aus dem Grunde nicht recht genau, weil bei hohem und niedrigem Luftdrucke jene Grösse der Winkelbewegung, welche etwa einem Druckunterschiede von 1 mm entsprechen soll, verschieden gross ausfällt. Diesem Nachteile entgeht man bei Anwendung des an grösseren Stationen jetzt überall eingeführten Rollenbarographen von Sprung [103]. Das Quecksilbergefäss und das Gegengewicht, das jedoch auch in Quecksilber eintaucht, hängen an einer Schnur, welche über eine feste, im Schwerpunkte unterstützte Rolle geht. Die Bewegung des Gegengewichtes um die Vertikalstrecke a lässt sich an einem Index kontrollieren; sie ist abhängig von der Veränderung b im Barometerstande. Wenn Q und q die inneren Querschnitte des weiteren und engeren Glasrohrteiles, q' den Querschnitt des (metallenen) Tauchcylinders und r denjenigen der eintauchenden Glasrohrwand bedeutet, so gilt die Gleichung [104].

Fig. 11.



$$\frac{a}{b} = \frac{Q}{q' + r - Q + q},$$

und der Bruch a:b kennzeichnet die Vergrösserung des Registrierbarometers. Vorteilhaft ist die kontinuierliche Registrierung. Eine neue Tauchvorrichtung hat Sprung im Jahre 1889 der in Berlin zusammengetretenen Generalversammlung der Deutschen Meteorologischen Gesellschaft demonstriert [105], wobei zugleich auf die Notwendigkeit hingewiesen ward, die Weite der Gefässe richtig auszuwählen.

Eine erhebliche Verbesserung des gewöhnlichen Luftdruckregistrators stellt neuerdings der wiederum von Sprung [106] konstruierte Thermobarograph dar. Gleichzeitig, ohne dass die beiden kombinierten Instrumente einer gegenseitigen Störung unterlägen, werden die Veränderungen der Luftschwere und der Lufttemperatur automatisch verzeichnet. Der Erfinder stellte fest [107], dass die mittleren Abweichungen der so erhaltenen Werte von denjenigen, welche direkte Ablesung eines Normalinstrumentes lieferte, sich in ganz minimalen Grenzen hielten.

Von den Diensten, welche ein guter Barograph für die Kenntnis der atmosphärischen Vorgänge leistet, war schon bei einer ganz anderen Gelegenheit (I, S. 488) die Rede. Auch entfernte Gewitter machen sich, wie Kap. VI noch besonders darthun wird, in heftigen Deformationen der barographischen Kurve bemerklich, wie man z. B. aus einigen von Börnstein [108] mitgeteilten Diagrammen ersieht, obschon es ja auch vorkommen kann [109], dass die plötzliche Gangstörung eines augenfälligen Grundes zu entbehren scheint. Die furchtbare Explosionskatastrophe, welche sich zu Rom am 23. April 1891 ereignete, sprach sich im Barogramme durch einen Sprung aus [110], welcher 20 mm Erniedrigung des Luftdruckes signalisierte.

§. 8. **Die barometrische Höhenmessung.** Kaum war das Barometer erfunden, so wurde es auch gleich zur Lösung einer Aufgabe in Anspruch genommen, der gegenüber man sich bis dahin mit sehr bescheidenen Hilfsmitteln hatte behelfen müssen. Es war die Aufgabe, den Höhenunterschied zweier verschieden weit vom Erdmittelpunkte befindlicher Punkte zu ermitteln. Bis dahin war nur eine trigonometrische Höhenmessung möglich gewesen, und die Antike [111] hatte damit auch einen freilich noch unzulänglichen Anfang gemacht. Nunmehr war das Instrument gegeben, welches jeden, der eine Höhe bestieg, in den Stand setzte, seinen augenblicklichen Vertikalabstand von einer bekannten Horizontalebene mit grosser Genauigkeit zu bestimmen.

Der französische Mathematiker Pascal ergriff sofort die hohe Bedeutung von Torricellis Entdeckung und veranlasste Versuche, welche er in einer — kürzlich von Hellmann neu edierten — Schrift [112] des näheren beschrieb. Später dehnte Pascal die mit dem Barometer gewonnenen Erfahrungen noch derart aus, dass eine die Grundlehren der Hydro- und Aërostatik behandelnde Monographie [113] zu stande kam. Schon bei der Besteigung eines Turmes von Notre-Dame in Paris war ein Sinken des Barometers unverkennbar, aber volle Klarheit erbrachte erst die Ersteigung des 1465 Meter hohen Puy de Dôme durch Pascals Schwager, Perier. Daraufhin war der Stand der Sache dieser: Je höher man steigt, um so tiefer steht das Quecksilber in der Barometerröhre, weil in grösserer Höhe die drückende Luftmasse an Quantität verloren hat. Nach welchem Gesetze aber die Abnahme des Luftdruckes fortschreitet, das war einstweilen noch unbekannt, und auch Sinclair, der [114] auf Bergeshöhen und in der Tiefe von Schachten die Thatsache selbst bestätigt fand, wusste nichts über jenen Zusammenhang auszusagen. Ebensowenig glückte Mariottes erster Versuch [115], dem Gesetze auf die Spur zu kommen;

Townley, an dessen sonst wenig bekanntes Verdienst v. Lindenau erinnert hat [116], blieb ebenfalls beim Versuche stehen. Auch die empirische Formel, nach welcher Scheuchzer [117] eine Menge seiner alpinen Barometermessungen zu verwerten gedachte, war so ungenau, dass die betreffenden Zahlen von den heute bekannten oft ganz ungeheuer abweichen.

Rosenberger hatte recht, daran zu erinnern [118], dass es eigentlich zu den zahllosen Verdiensten Newtons gehört, der Wahrheit die Bahn gebrochen zu haben. Er stellte den Satz auf [119]: Nimmt man auf die Höhenabnahme der Schwere Rücksicht, so nehmen, wenn die Höhen in arithmetischer Progression wachsen, die Dichten der zugehörigen atmosphärischen Schichten in harmonischer Progression ab; lässt man dagegen die Schwere als konstant gelten, so korrespondiert mit dem Wachstum der Höhe in arithmetischer eine Verminderung der Dichte — und damit des Druckes — in geometrischer Progression. Damit war, strenge genommen, jene korrekte Barometerformel gefunden, welche, wenn auch mit mannigfaltigen Zusätzen, heute noch der Berechnung der Höhenunterschiede dient. Dieselbe rührt von Halley [120] her.

Man kann diese Formel auch elementar herleiten [121], doch führt weit rascher die analytische Betrachtung zum Ziele. Einer unendlich kleinen Zunahme dh der Höhe h entspricht eine unendlich kleine Abnahme des Druckes p, also — dp. Bedeutet $s = kp$, wo k eine konstante Grösse ist, das Gewicht der Volumeneinheit an der Stelle der Höhen- und Druckänderung, so hat man sofort eine Differentialgleichung, die integriert werden kann. Man findet:

$$s\,dh = -dp, \quad kp\,dh = -dp, \quad dh : dp = -1 : kp, \quad h = -\frac{1}{k}\log p + \text{Konst.}$$

Daraus folgt, wenn b_1 den Barometerstand am unteren, b_2 den Barometerstand am oberen Orte bezeichnet, ($b_1 > b_2$), für die Vertikaldistanz H der durch jene beiden Orte gelegten Horizontalebenen die Gleichung:

$$H = c(\log b_1 - \log b_2) = c \log (b_1 : b_2).$$

Die Konstante c ist besonders auszumitteln.

Halley setzte den Barometerstand am Meeresniveau $(b_1) = 30$. Die von ihm eruierte Formel hatte die folgende Gestalt:

$$H = \frac{900}{0{,}0144765}(\log 30 - \log b_2).$$

Diese Barometerformel nun ist in den nächsten zweihundert Jahren unausgesetzt das Objekt konsequenter Verbesserungsarbeit gewesen, indem man allmählich alle die sehr zahlreichen Umstände kennen lernte, welche bei einer wirkliche Exaktheit anstrebenden barometrischen Höhenmessung berücksichtigt sein wollen. J. Cassini (II), Celsius, Lambert, Maskelyne, Horrebow, Hennert, Trembley, Kramp u. a. haben sich im Laufe des XVIII. Jahrhunderts an dieser Arbeit beteiligt; man vergleiche hiezu die Schriften von Kästner [122] und Benzenberg [123], den Lexikonartikel „Höhenmessung" von Brandes [124] und den geschichtlichen Abschnitt in Rühlmanns Schrift [125] über das barometrische Höhenmessen. Deluc [126] betonte die Notwendigkeit, auch der Temperaturverschiedenheit innerhalb der die beiden Stationen trennenden Luftsäule gerecht zu werden; war unten und oben jeweils der Thermometerstand t_1 und t_2 abzulesen, so setzte er (in m)

$$H = 17970 \log (b_1 : b_2) \cdot [1 + 0{,}002\,(t_1 + t_2)].$$

Vergleicht man die Uebersicht, welche Wolf [127] über den wesentlichen Inhalt von Delucs Werk gegeben hat, so überzeugt man sich, dass demselben die Bezeichnung eines grundlegenden nicht vorenthalten werden darf. Von grosser Be-

deutung wurden ferner die Untersuchungen von Laplace [128] und Ramond [129], welch letzterer durch Höhenbestimmungen, welche er an Pyrenäenbergen nach verschiedenen Methoden vollzog, sehr viel zur genaueren Kenntnis der barometrischen Konstante beitrug. Auch der grosse Astronom Bessel hat mehrfach, namentlich durch seine Hilfstafeln, zur Verfeinerung des Verfahrens beigetragen [130], nicht minder der Geodät Baeyer [131], der ein barometrisches Nivellement zwischen Berlin und Ostseestrand ausführte. Eine für die Sache selbst förderliche Kontroverse entspann sich, als Ohm [132] die Behauptung aufstellte, die drückende Luftmasse habe nicht, wie allgemein angenommen worden war, die Gestalt eines Vertikalcylinders, sondern die eines Kegels, dessen Spitze mit dem Erdzentrum zusammenfalle, eine Behauptung, welche Guldberg [133] und v. Bauernfeind [134] widerlegten. Die Monographie des letzteren stützte sich auf ein umfassendes geometrisches Nivellement, durch welches die Koten einiger Höhepunkte des oberbayerischen Gebirges sehr genau ermittelt worden waren. Für alle hier konkurrierenden Fragen wird man sich Rat erholen können in dem zusammenfassenden Lehrbuche von Schreiber [135] und in der bereits namhaft gemachten Monographie von Rühlmann (s. o.); aber auch die Kompendien der Vermessungskunde gehen selbstredend gründlich auf Theorie und Praxis dieses Zweiges der Geodäsie ein. Unter ihnen verdienen besonders die Werke v. Bauernfeinds [136] und Jordans [137] hervorgehoben zu werden.

Suchen wir alle die Faktoren zusammenzustellen, welche die Genauigkeit der vorzunehmenden Operationen beeinflussen können, so erkennen wir bald, dass die folgenden Punkte in Betracht zu ziehen sind: I. die Temperatur der Luft; II. die Temperatur des Quecksilbers; III. der Dunstdruck; IV. die geographische Breite. Was die drei ersten Momente anlangt, so ist deren Beachtung wohl selbstverständlich, wenn auch die Grösse des zweiten Faktors niemals eine beträchtliche werden kann. Ueber den vierten Punkt ist hingegen einiges zu sagen.

Der Luftdruck wird gemessen durch das Gewicht einer Quecksilbersäule, und dieses ist einem bekannten Satze der Physik (I, S. 179) zufolge gleich dem Produkte aus Masse und Schwerebeschleunigung g (in der Höhe H', welche als Mittelhöhe der beiden Beobachtungsorte gedacht ist). Mit Beiziehung früher bewiesener Thatsachen (I, S. 182) können wir, wenn φ die Polhöhe, g_0^φ die Beschleunigung der Schwere am Meeresspiegel unter der Breite φ ist, nachstehende Formeln anschreiben (unter r den Erdradius verstanden) [138]:

$$g : g_0^\varphi = r^2 : (r + H')^2; \quad g_0^\varphi = g_0^{45^0} (1 - \beta \cos 2\varphi).$$

Der genaueste Wert von β folgt aus Helmerts [139] Diskussion einer grossen Reihe von Pendelmessungen.

Wir geben nachstehend die Höhenmessungsformeln nach v. Bauernfeind [140] und Jordan [141]. Die Rühlmannsche Formel [142] weicht von der erstgenannten nur unwesentlich ab, indem Rühlmann einmal auf den Kohlensäuregehalt der Atmosphäre und dann auch noch auf die Gebirgsanziehung Bedacht genommen wissen will. Es bedeuten t_1' und t_2' die Quecksilbertemperaturen, σ_1 und σ_2 die Dampfspannungen unten und oben; die Bedeutung von r, φ, t_1, t_2, b_1, b_2, H (in m) ist bekannt, und M bedeutet den Modulus des natürlichen Logarithmensystemes für die hier der Betrachtung zu Grunde gelegten dekadischen Logarithmen (0,43429).

Es ist nach v. Bauernfeind

$$H = 18405\,[1 + 0{,}001835\,(t_1 + t_2)]\,.\,[1 + 0{,}0026 \cos 2\varphi]$$
$$\times \left[1 + \frac{3}{16}\left(\frac{\sigma_1}{b_1} + \frac{\sigma_2}{b_2}\right)\right] . \left[\log\left(\frac{b_1}{b_2}\right) - \frac{t_1' - t_2'}{25000} + 2M \,.\, \frac{H'}{r}\right].$$

Jordan dagegen, welcher die ganze Formel direkt für logarithmische

Berechnung eingerichtet hat, die Differenz $(t_1' - t_2')$ aber ausser Betracht lässt, gibt dem Ausdrucke die folgende Form:

$$H = 18400\,[1 + 0{,}001833\,(t_1 + t_2)\,.\,[1 + 0{,}00265\cos 2\varphi]$$
$$\times\left[1 + \frac{0{,}754\,\sigma}{b_1 + b_2}\right].\log\left(\frac{b_1}{b_2}\right).\left(1 + \frac{2H'}{r}\right).$$

Unter σ ist hier der mittlere Dunstdruck verstanden.

Ersichtlich ist die Verschiedenheit beider Ausdrücke keine tiefgehende. Doch muss daran erinnert werden, dass beide auf den ersten Anblick paradox erscheinen, denn es kommt darin die Grösse H' vor, welche, wenn h_1 und h_2 resp. die untere und obere Meereshöhe der beiden Stationen vorstellen, gleich $h_1 + \frac{1}{2}H = h_2 - \frac{1}{2}H$ zu setzen wäre. Der befremdliche Charakter verliert sich, wenn man daran denkt, dass obenhin die Grösse H ja bereits durch c $(\log b_1 - \log b_2)$ gegeben ist, und sofern H' : r unter allen Umständen nur eine minimale Grösse sein kann, darf mit dem angenäherten Werte für H unbedenklich gerechnet werden.

Die Rücksichtnahme auf die doch nie mit absoluter Exaktheit auszumittelnden Einflüsse der Temperatur und Luftfeuchtigkeit kompliziert stets die Rechnung. Der amerikanische Geologe G. K. Gilbert [143] umgeht diese Notwendigkeit durch stete Berücksichtigung der Verhältnisse einer Luftsäule, welche zwischen zwei möglichst demselben Erdhalbmesser angehörigen Punkten von grosser und sehr genau bekannter Vertikaldistanz obwalten. Seine Schlussformel, welche Köppen [144] als durchaus korrekt in der theoretischen Grundlage bezeichnet, scheint bislang nur in Nordamerika ausgedehnterer Prüfung unterzogen worden zu sein. Eine in manchen Punkten von den beiden oben mitgeteilten abweichende Höhenformel hat Pernter [145] angegeben, indem er sich bezüglich der Abnahme der Schwere mit der Höhe über den Kontinenten dem auch von Rühlmann vertretenen Standpunkte näherte. Es gibt aber auch abgekürzte Höhenformeln, welche für manche besondere Zwecke durchaus genügende Näherungen liefern. Köppen [146] hat eine Anzahl derselben zusammengestellt und diskutiert. Stets lässt sich die kalkulatorische Arbeit dadurch vereinfachen, dass man Hilfstafeln für diejenigen Summen oder Differenzen berechnet, welche in die einzelnen, die Gesamtformel zusammensetzenden Klammern eingegangen sind; nach dieser Seite hin sind besonders empfehlenswert die von Jordan sowohl für die höheren Ziele des Geodäten an sich, als auch einerseits für das Hochgebirge, andererseits für Flach- und Hügelland erstellten Tafeln [147]. Auch von Schoder [148] liegen solche vor. Für die Praxis empfiehlt sich die Verwendung des Rechenschiebers in dem von Hammer [149] näher bestimmten Sinne.

Trotz aller rechnerischen Schärfe kann doch die barometrische Höhenmessung zu Irrtümern führen, wenn nicht auch noch gewisse Kautelen hinsichtlich der Beobachtungstermine hinzugenommen werden. Durch deren Ausserachtlassung kam es, wie Reiss [150] erzählt, einmal vor, dass Reisende, die tagelang den Amazonas hinabgefahren waren, scheinbar höher hinauf gekommen waren. Durch die planmässigen Beobachtungen v. Bauernfeinds [151], welche an ältere Angaben von Saussure und Ramond anknüpften, wurde festgestellt, dass die atmosphärischen Zustände für die Ablesung des Barometers jeweils um 10^h vormittags und um 4^h nachmittags am günstigsten gelagert sind, so dass, wenn die Beobachtungszeit auf eine andere Stunde fällt, immer noch eine besondere Korrektur anzubringen ist. Rühlmann hat die tägliche Periode der barometrischen Höhenkurve genau untersucht [152] und sich auch von dem Vorhandensein einer Jahreskurve überzeugt [153]. Ueber den Einfluss des Windes auf die Genauigkeit solcher Messungen hat schon im XVIII. Jahrhundert ein gewisser Wild [154] Studien angestellt, die dann später Pick [155], mit Berichtigung der von Kämtz [156] geäusserten Ansichten, weiter fortführte.

Eine relativ grosse Genauigkeit lässt sich beim barometrischen Höhenmessen nur bei Anwendung des Quecksilberbarometers erhoffen. Da jedoch gerade in diesem Falle, zumal wenn es sich um Ueberwindung von Terrainschwierigkeiten handelt, das Aneroid von hervorragender Bequemlichkeit und Verwend-

barkeit sein muss, so erscheint es als ein Gebot der Notwendigkeit, die für dieses Instrument bestehenden Bedingungen zu erforschen. Nach v. Bauernfeind [157] hätte man mit folgender Thatsache zu rechnen: Die bei einer Messung mit Quecksilberbarometer zu erwartende Genauigkeit verhält sich zu jener, welche das Aneroid verspricht, unter sonst gleichen Umständen wie 17 zu 10. Seitdem mag das Verhältnis, da die Federbarometer nach Konstruktion und Behandlungsweise manchen Fortschritt aufzuweisen hatten, ein einigermassen günstigeres geworden sein.

Gesetzt, es sei gleichzeitig an einem Quecksilberbarometer die Zahl Q, an einem Holosterik die Zahl F abgelesen worden. Dann besteht [158] zwischen beiden Grössen die nachstehende Gleichung:

$$Q = F + x + ty + z\,(760 - F).$$

Hier ist x die Standkorrektion, y der Temperaturkoeffizient, t die gleichzeitig genommene Temperatur, ty die Temperaturkorrektion, z der Teilungskoeffizient, z (760 — F) die Teilungskorrektion. Obiges ist nur eine Näherungsformel, die jedoch in der Mehrzahl der Fälle genügt. Für eine detaillierte Behandlung dieser Korrektionen verweisen wir auf die uns schon bekannte Darstellung von Jordan, sowie auf diejenigen von Hartl [159] und Reitz [160]. Besonders gefährlich erweist sich für den mit der Unberechenbarkeit (S. 58) dieser Apparate nicht gehörig vertrauten Beobachter die nicht seltene, durch elastische Nachwirkung bedingte sprungweise Aenderung des Zeigers, womit uns Vogler [161] und Reinhertz [162] bekannt gemacht haben. Aber trotzdem ist das Aneroid ein überaus schätzbarer Behelf für Hochtouristen und wissenschaftliche Reisende, und den Erfahrungen M. Schmidts zufolge [163] versagt es selbst bei der Ermittelung so kleiner Höhenunterschiede, wie sie bei Eisenbahntracierungen u. s. w. vorkommen, durchaus seine Dienste nicht. Nur ist stets darauf zu halten, dasselbe immer wieder von neuem mit einem Normalbarometer zu vergleichen und sich zumal der Konstanz der Standkorrektion zu versichern. Speziell den Wünschen des leichtes Gepäck bevorzugenden Bergsteigers passen sich Frischaufs handliche Tabellen [164] an, während für den, der Rechnung thunlichst vermeiden will, Voglers graphische Tafeln [165] sich am besten eignen.

§. 9. **Die thermometrische Höhenmessung.** Lediglich als eine Abart der barometrischen stellt sich uns die thermometrische Höhenmessung dar. Nach Gintl, dem man die erste zusammenfassende Schrift [166] hierüber verdankt, sollen zuerst Fahrenheit und Cavallo eine wichtige Wahrnehmung gemacht haben [167]: Die Verzögerung des Siedeprozesses deutet auf Zunahme, die Verfrühung auf Abnahme des Luftdruckes und damit auch auf eine Veränderung der Meereshöhe hin. Das Thermometer vermag mithin bis zu einem gewissen Grade das Barometer als Höhenmessinstrument zu ersetzen.

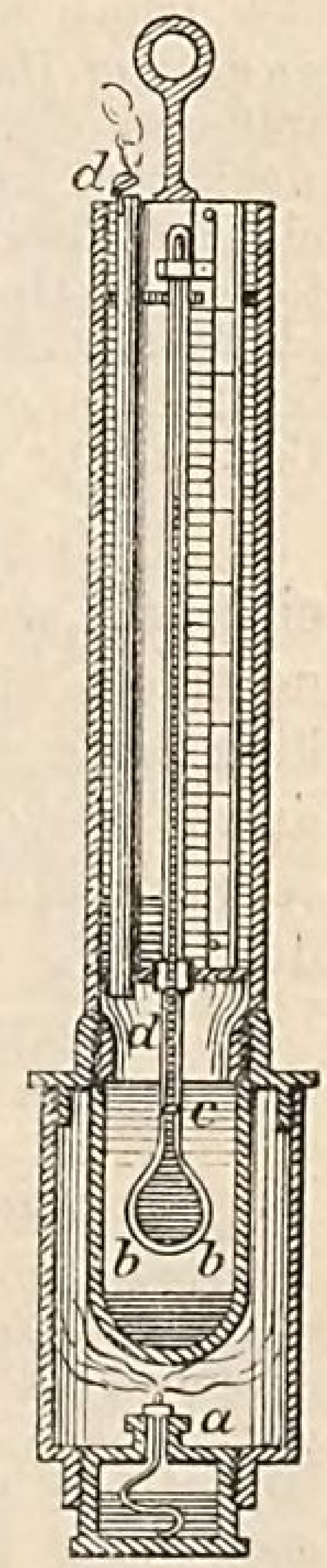
Der Vorgang des Siedens führt eine Flüssigkeit aus dem tropfbar- in den elastisch-flüssigen Aggregatzustand über; der Prozess beginnt, wenn die an der äussersten Oberfläche befindlichen Moleküle aus dem Verbande mit der Flüssigkeitsmasse losgelöst und der Atmosphäre einverleibt werden. Dieser Entbindung leistet der Druck der auf der freien Oberfläche lastenden Luft Widerstand; je stärker dieser Druck, um so mehr Wärme muss zugeführt werden, um das Aufwallen der ersten Dampfblasen zu bewirken.

Damit ist das Wesen des Koch- oder Siedethermometers bestimmt, welches durch Ure und Wollaston für den hier gemeinten Zweck aptiert worden ist [168]. In der Hauptsache hat man diese

Einrichtung auch in der Folgezeit beibehalten und sie nur in mehr untergeordneten Punkten abgeändert.

Das Messthermometer (Fig. 12) braucht nur etwa eine Teilung von 80° bis 101° zu besitzen; die Teilstriche können demnach weit voneinander entfernt sein; dies wird dadurch ermöglicht, dass die Röhre bei c eine kugelförmige Erweiterung erhält. Das umhüllende Kochgefäss b b enthält reines Wasser, und dieses wird durch die Lampe a so lange erwärmt, bis es ins Wallen gerät. Mit b b steht in Verbindung das beiderseits offene, oben aber mit einem leichten Ventile versehene Metallrohr d d, durch welches die Dämpfe entweichen können. An der Station angelangt, stellt man den Apparat geschützt auf, entzündet a und wartet nun auf den Moment, in welchem das erste Dampfwölkchen sich aus d d losringt. Nun liest man ab, verwandelt den Thermometergrad an der Hand einer Tabelle in die dem Luftdrucke äquivalente Anzahl von Millimeter und rechnet weiter nach der barometrischen Höhenformel.

Fig. 12.



Einer der ersten Naturforscher, welche in dieser Weise vorgingen, war nach H. A. Schumachers Berichten [169] der Neuspanier De Cáldas (I, S. 25), der Humboldts ungünstiges Urteil über die Methode durch die That richtig stellte. Tabellen der bezeichneten Art hat man von Körner [170], Regnault [171], Kunze [172] und Zöppritz [173]. Freilich wird ein absolutes Zusammenfallen des durch Beobachtung direkt gefundenen Siedepunktes mit jenem, der aus dem Luftdrucke berechnet ist, nicht zu erwarten sein, doch ist der Unterschied niemals gross. Eine von Kunze [174] abgeleitete Erfahrungsgleichung lässt dies deutlich erkennen. Ueber die auf Reisen zu beachtenden Vorsichtsmassregeln hat sich gründlich D'Abbadie [175] ausgesprochen, dem in Abessynien die thermometrische Messung vieler Gipfel gelungen war. Wenn es gelingt, den erforderlichen Weingeist mitzuführen, so ist die Höhenbestimmung mit dem Siedethermometer als Kontrolle für die Aneroidbeobachtungen von entschiedenem Werte.

Natürlich gibt ein Quecksilber-Normalbarometer die sicherste Standkontrolle, noch zuverlässiger als die des Kochthermometers, denn wenngleich die Angaben des letzteren im Verhältnis konstanter als diejenigen des Metallbarometers sind, so ist doch völlige Konstanz auch nicht zu verbürgen [176]. Der reisende Naturforscher wird aber desungeachtet nicht gerne auf ein Instrument verzichten, welches ihn in den Stand setzt, seinen Aneroidmessungen gleich an Ort uud Stelle einen höheren Wert sichern zu können.

§. 10. **Hygro- und Psychrometer.** Nächst der Bestimmung von Wärme und Luftdruck ist für den Meteorologen am wichtigsten die Gewinnung von Anhaltspunkten über den augenblicklichen Feuchtigkeitszustand der Atmosphäre. Zunächst wurden bloss Hygroskope (ὑγρός, feucht) ins Auge gefasst, die man sodann zu exakten Hygrometern umzubilden sich bestrebte.

Den ersten Versuch, ein Mehr oder Minder der Luftfeuchtigkeit augenfällig nachzuweisen, erkennt man im XV. Jahrhundert bei Nikolaus von Cusa, der ausgetrocknete Wolle der feuchten Luft aussetzte und sodann die durch Wasseraufnahme herbeigeführte Gewichtszunahme ermittelte [177]. Minder ungenau war schon das durch E. Gerland [178] beschriebene Hygrometer der florentinischen Akademie. Ein Gefäss war mit Eis gefüllt, und das Schmelzwasser floss in ein graduiertes Rohr ab, das unter sonst gleichen Umständen weniger oder mehr Wasser aufwies, je nachdem der Feuchtigkeitszustand der Luft mehr oder weniger dem der Sättigung nahe kam. So unvollkommen die Vorrichtung ist, so genügte sie doch, um den Südwestwind als den feuchtesten aller Winde zu kennzeichnen. Die Folgezeit konzentrierte ihre ganze Aufmerksamkeit darauf, geeignete hygroskopische Substanzen ausfindig zu machen. So verwendeten Molyneux, Sturm, De St. Martino tierische Gegenstände [179], wie Saiten und dünne Membranen; Deluc erfand das Fischbein- oder Elfenbeinhygro-

meter [180], G. M. Lowitz das Schieferhygrometer [181]. Für Stoffe aus dem Mineralreiche erklärten sich auch [182] Lampadius und De la Rive, wie denn auch z. B. Kochsalz und Schwefelsäure entschieden hygroskopische Substanzen sind. Andererseits gaben dem Pflanzenreiche (Seile, Holzfasern, Pflanzengrannen) den Vorzug [183] Leupold, v. Wolf, Leslie und Maignan, und noch in unseren Tagen wurde uns durch das in diese Klasse gehörige Bifilarhygrometer von Klinkerfues [184] ein Instrumentchen geliefert, welches innerhalb gewisser Grenzen als sehr brauchbar bezeichnet werden darf. Im Grunde genommen blieben diese Apparate jedoch mehr nur Hygroskope denn eigentliche Hygrometer, und nur Saussures (Menschen-)Haarhygrometer, dessen erste Idee von 1775 datiert [185], während genauere Untersuchungen darüber erst viel später erschienen [186], behauptete einen höheren Platz, so dass man seiner, wie sich zeigen wird, auch heute noch nicht ganz entraten kann. Das Haar — Saussure zog Haare von Mumien als am meisten entfettet vor — ist oben befestigt, während das andere Ende um eine Rolle geht und diese, je nachdem mehr oder weniger Wasser aus der Luft aufgenommen ist, im einen oder anderen Sinne dreht; ein im Mittelpunkte der Rolle befestigter Zeiger spielt über einem empirisch zu teilenden Gradbogen. Einen guten Ueberblick über die ältere Auffassung des hygrometrischen Problemes gewährt Lamberts Bearbeitung der Frage [187]; erst im XIX. Jahrhundert bahnte sich eine andere und zwar strenger wissenschaftliche Behandlung an.

Wir haben oben (S. 23) erfahren, dass der Taupunkt dann eintritt, wenn die Luft gerade so viel Wasserdampf in sich aufgenommen hat, als sie unter den herrschenden Temperaturverhältnissen überhaupt zu fassen im stande ist. Wenn dem so ist, so kann man durch geeignete Kälteerzeugung den Taupunkt direkt bestimmen. Gesetzt, seine Temperatur sei T, die Allgemeintemperatur dagegen t; aus den schon erwähnten Tabellen (S. 23) kann man dann die zugehörigen Dampfspannungen entnehmen; 1 cbm Luft enthält bei t^0 etwa α Gramm und beim Sättigungszustande von T^0 etwa β Gramm Wasser. Dann ist die relative Feuchtigkeit (S. 23) durch die Zahl $\frac{100\,\alpha}{\beta}$ % gegeben.

Die Daten für solche Rechnung stellt Daniells Schwefelätherhygrometer [188] zur Verfügung. Ein U-Rohr trägt einen kurzen und einen längeren vertikalen Arm; jeder Arm ist durch eine angeblasene Kugel abgeschlossen. Die Kugel a ist mit Musselin oder Nesseltuch umhüllt; in die Kugel selbst ward zuvor eine kleine Menge Schwefeläther gegeben, dessen Dämpfe das U-Rohr erfüllen. Die Kugel b enthält ein Thermometer, welches zu Beginn der Beobachtung mit einem am Gestelle angebrachten und die Lufttemperatur t angebenden Thermometer auf gleicher Höhe steht. Nun wird Aether auf die Umhüllung von a gegossen, und durch dessen Verdunstung bildet sich in der Nähe der Kugel ein kalter Raum aus; die Dünste in a verdichten sich, und in b entstehen neue, bis endlich im U-Rohre infolge der Verdunstungskälte die Temperatur so weit gesunken ist, dass ein vergoldetes Zonenband der Aussenfläche von b mit feinen Tröpfchen beschlägt. In diesem Augenblicke wird T unmittelbar abgelesen, während t von vornherein gegeben ist. Da jedoch die Temperatur des Aethers in den verschiedenen Teilen des Rohres nicht die gleiche ist, so trüben leicht konstante Fehler die Genauigkeit einer nach Daniell vorgenommenen Messung, während Regnaults Versuchsanordnung [189] diese Fehler umgeht.

Das zuverlässigste Instrument für hygrometrische Zwecke ist gewiss das von August erfundene und vielfacher Erörterung [190] unterzogene Psychrometer (ψυχρός, kühl, frostig). An einem Ständer sind (nach Massgabe von Fig. 13) zwei völlig gleiche Thermometer angebracht, deren eines trocken bleibt, während das andere — die Figur macht die Art der Befeuchtung wohl ohne besondere Beschreibung klar — stets befeuchtet erhalten wird. Nur dann, wenn die umgebende Atmosphäre mit Wasserdampf gesättigt wäre, würde keinerlei Ver-

dunstung eintreten; für gewöhnlich aber verdunstet Wasser, und je stärker die Verdunstung ist, um so tiefer sinkt das Quecksilber im befeuchteten Thermometer, so dass aus der Differenz der Thermometerstände die relative Feuchtigkeit berechnet werden kann.

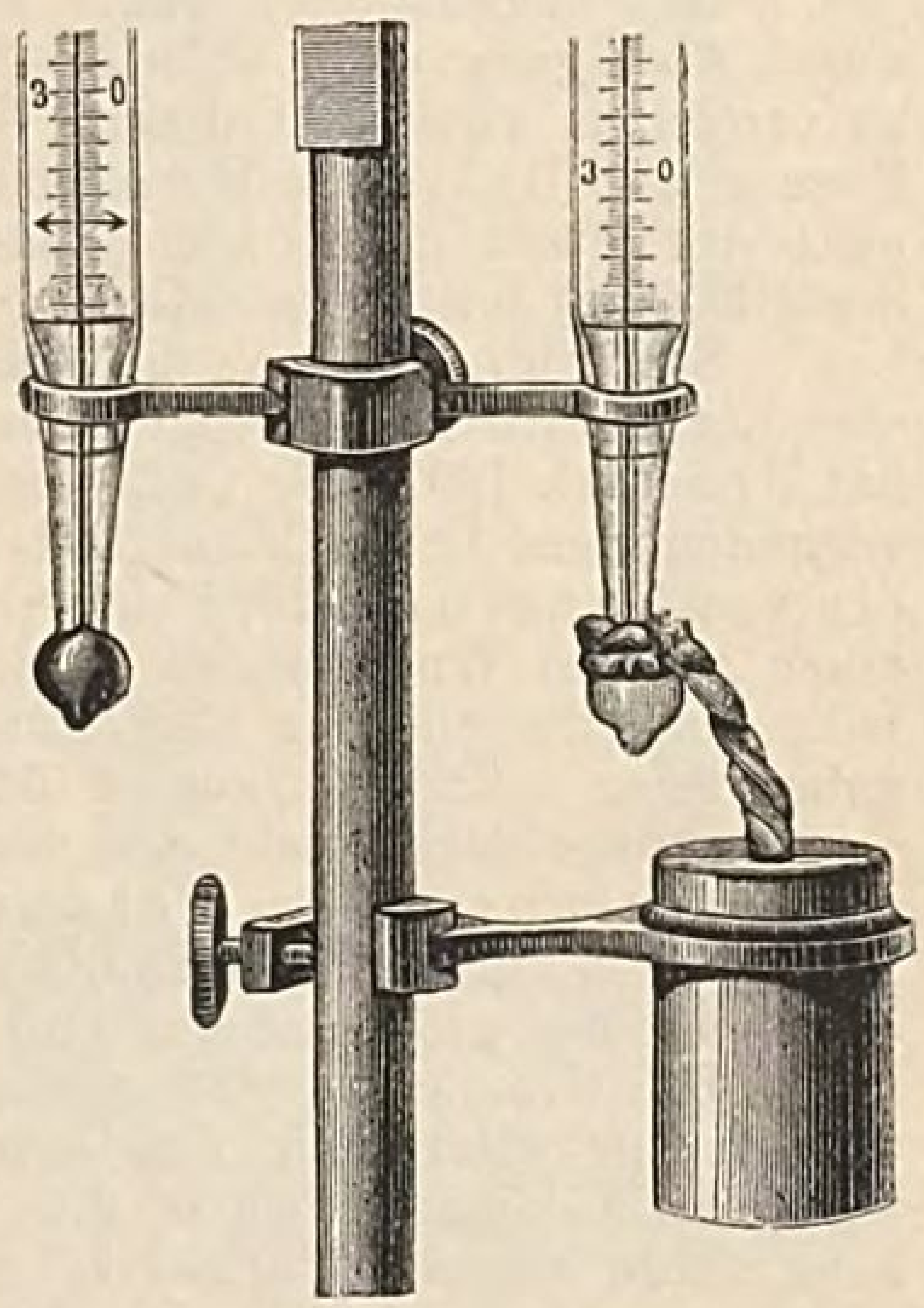
Wir nennen die Psychrometerkonstante für normale Verhältnisse c_1, für den Fall gefrorenen Wassers auf der Hülle c_2. Mit t_1 und t_2 ($t_1 \geqq t_2$) bezeichnen wir resp. den Stand des trockenen und des nassen Thermometers, mit e_1 und e_2 die diesen Temperaturen entsprechenden Spannkräfte, mit b den Barometerstand, mit E resp. die Differenz

$$e_2 - c_1 b (t_1 - t_2), \quad e_2 - c_2 b (t_1 - t_2).$$

Dann ist der Bruch $E : e_1$ die gesuchte relative Feuchtigkeit. August hatte $c_1 = 0,000804$ und $c_2 = 0,000748$ gesetzt; umfängliche neuere Untersuchungen über die Psychrometerkonstante (s. u.) sind von Edelmann [191] angestellt worden.

Davon, dass man durch Schleudern ein Thermometer — und also auch ein Psychrometer — am raschesten für die wahre Lufttemperatur aptieren könne, ist bereits (S. 52) die Rede gewesen. Ueber Marvins Vergleichung der Angaben eines Schleuderpsychrometers und eines Taupunkthygrometers berichtete Ferrel [192]. Es fand sich, dass die erwähnte Konstante eigentlich diesen Namen nicht verdient, sondern, wenn auch nur in sehr mässigem Grade, von der Temperatur des feuchten Thermometers abhängt.

Fig. 13.



Die ziemlich ausgedehnte Litteratur der Hygro- und speziell der Psychrometrie hat Grossmann [193] einer gründlichen Bearbeitung unterzogen. Seine Formeln behandeln allgemein das Verhalten des Psychrometers in ruhiger und bewegter Luft, für welch letzteren Fall Sworykin [194] die Untersuchung begonnen hatte. Die Augustsche Formel erwies sich in der Hauptsache richtig und bedurfte nur einer minder einschneidenden Abänderung [195]. Eine gewisse von Grossmann eingeführte Korrektionsgrösse fällt für gewöhnlich ziemlich klein aus, kann aber unter Umständen doch auch berücksichtigenswert erscheinen [196].

Es sind auch am Regnaultschen Prinzipe (s. o.) Verbesserungsversuche gemacht worden, denen die neueren Kondensationshygrometer von Dufour [197] und Nippoldt [198] ihre Entstehung verdanken. Als Taufläche wurde von letzterem eine freie Quecksilberoberfläche gewählt, an deren Peripherie, wenn in einem darunter befindlichen Gefässe die Verdunstung eingetreten ist, die Taubildung sofort beginnt, um dann nach der Mitte hin fortzuschreiten. Die „natürliche Politur“ des Mediums gestattet leichte Kontrolle des Betauungsvorganges. Betreffs der relativen Brauchbarkeit psychrometrischer und — im engeren Sinne — hygrometrischer Messungen sind Hills [199] vergleichende Studien von Wert.

Auch direkte Verfahrungsweisen zur Ermittelung der absoluten Luftfeuchtigkeit sind bekannt. So liess Guyton de Morveau [200] sämtlichen Wassergehalt eines abgesperrten, genau gemessenen Luftquantums durch Chlorcalcium absorbieren und bestimmte den eintretenden Gewichtszuwachs, und Brunner [201] verschärfte diese Bestimmung, indem er durch einen Aspirator die Luft zum Durchlaufen einer mit Asbest gefüllten Röhre nötigte. Ferner hat man früher daran gedacht [202], die in den sogenannten Trockensäulen von Zamboni und Bohnenberger sich vollziehenden chemischen Verände-

rungen nutzbar zu machen; dieselben hängen von den hygroskopischen Eigenschaften der verwendeten Substanz ab, und die Stromstärke ist eine Funktion des atmosphärischen Feuchtigkeitsgehaltes Die Trockensäule ist zum mindesten als Hygroskop brauchbar.

§. 11. **Verdunstungsmessung.** Je trockener die Luft, um so energischer ist die Verdunstung; in gewissem Sinne wirkt ein Hygrometer zugleich als Verdunstungsmesser. Es liegt jedoch nahe, auch Apparate zu konstruieren, welche direkt angeben, wie viel Wasser einer gegebenen Wassermenge durch Uebertritt in die Atmosphäre verloren geht. Schon seit alter Zeit hat man sich demzufolge mit der Konstruktion von Atmometern (oder Atmidometern; ἀτμή = ἀτμίς, Dampf) beschäftigt; auch der Name Evaporimeter (evaporatio, Verdampfung) ist im Gebrauche [203]. Die neueren Phasen dieser Bestrebungen sind von Gelcich [204] zutreffend gekennzeichnet worden.

Den angedeuteten Zweck suchte man — Leutmann, Musschenbroek — durch Abwägung einer Flüssigkeitsmenge in verschiedenen Stadien der Verdunstung zu erreichen, allein auf diesem Wege war ein wirklicher Erfolg nicht zu erhoffen. Ebenso war Bellanis Hebeapparat [205] unzureichend, die Verdunstungsverhältnisse des feuchten Erdbodens genauer festzustellen. Die palatinisch-meteorologische Sozietät (S. 3) hatte ebenfalls einen besonderen Verdunstungsmesser empfohlen [206].

Späterhin hat man die Umstände näher untersucht, unter welchen überhaupt eine atmometrische Messung ihren Zweck zu erreichen hoffen darf, und insbesondere hat Jelinek [207] die Gefahren genau bezeichnet, von welchen eine im Freien vorgenommene Beobachtung stets bedroht erscheint. Vieles für sich hat jedenfalls der von Saussure [208] angeregte Gedanke, das Verdunstungsgefäss mitten in einer grossen Wasserfläche (See, Teich) anzubringen, damit man die Gewissheit habe, dass die gleichen Bedingungen in der Natur wie auch im Einzelversuche gegeben seien. Auch darauf ist Rücksicht zu nehmen, dass nach Stefan [209] der Verdunstungsbetrag nicht, wie man zunächst meinen möchte, dem Inhalte, sondern dem Umfange der Verdunstungsfläche proportional ist. Eine kleine Wasserfläche gibt also verhältnismässig viel rascher ihr Wasser an die Luft, als dies bei einer grösseren der Fall sein würde.

Die Grundsätze der mechanischen Wärmetheorie ermöglichen es, aus den vollständig vorliegenden, den Gesamtzustand der Atmosphäre bestimmenden meteorologischen Elementen heraus die Verdunstungshöhe theoretisch zu ermitteln. Eine dahin zielende Formel ist von Weilenmann aufgestellt und von Sprung diskutiert worden [210]. Die Vergleichung theoretisch und empirisch gefundener Zahlen hat ein im ganzen befriedigendes Resultat ergeben.

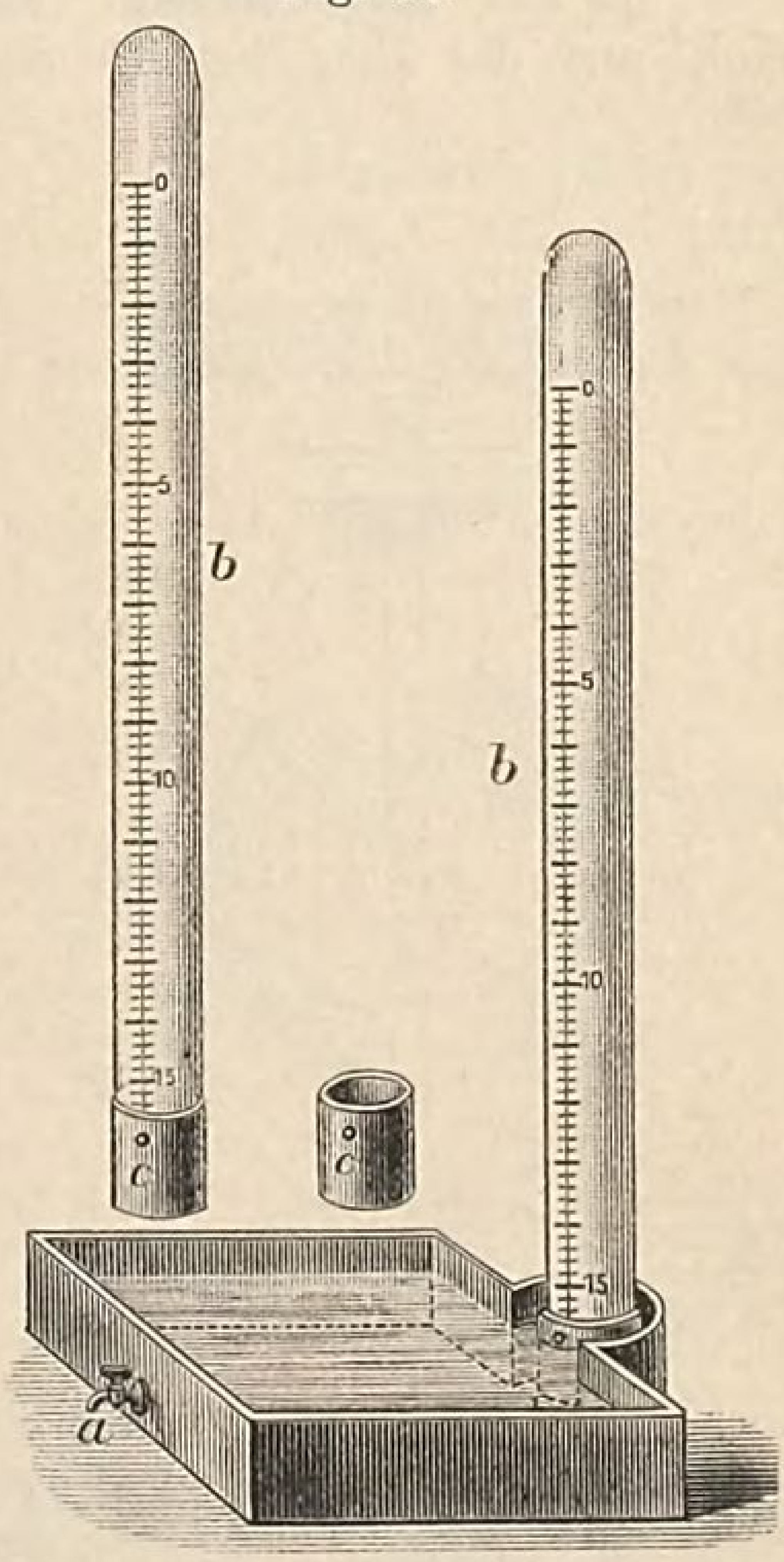
Ein mehrfach in der Praxis angewandtes Prinzip besteht darin, poröse Gegenstände der Verdunstung auszusetzen. Angewandt ist dasselbe zuerst von Leslie [211] worden, aber erst in unseren Tagen hat es eine messenden Absichten genügende Vervollkommnung erfahren. Wir meinen hier das Evaporimeter von Piche [212], welches sich zuerst auf den meteorologischen Observatorien Frankreichs bewährt hat und auch anderwärts bereitwillig Eingang fand.

Eine lange, schmale Glasröhre, die nach 0,1 ccm kalibriert ist, wird bis nahe zum freien Rande mit destilliertem Wasser gefüllt, und auf den freien Rand wird ein Fliesspapierscheibchen gelegt, das in der Mitte eine kleine Oeffnung hat und durch eine Feder an die Röhre angedrückt wird. Alsdann wird die Röhre umgekehrt und aufgehängt. Die Papierscheibe saugt sich mit Wasser voll, und nach Massgabe der stattfindenden Verdunstung tritt von neuem Wasser aus der Röhre in die Scheibe ein, so dass in ersterer die Wassersäule langsam sinkt. Diese Wasserabnahme müsste theoretisch der Verdunstungsgrösse genau gleich sein. Langer, van Bebber und Riegler haben mit diesem Instrumentchen sehr gute Erfahrungen

gemacht [213]. Um den immerhin mitwirkenden hydrostatischen Druck zu beseitigen, kann man mit Frascoli und Cantoni eine U-förmig gebogene Röhre statt der einfachen von Piche nehmen [214].

Das Atmometer von Prestel [215] hat mit dem soeben besprochenen das gemein, dass aus dem ursprünglichen Aufbewahrungsrohre das Wasser stetig austritt, um einen durch Verdunstung entstandenen Defekt auszugleichen. Der flache Blechkasten a (Fig. 14) trägt an der dem Ausflusshahne gerade gegenüberliegenden Seite eine halbzylindrische Ausweitung, in welche ein oben geschlossenes, kalibriertes Wasserrohr b eingesetzt ist. Dasselbe hat am unteren Ende eine kleine Oeffnung c. Solange der Wasserspiegel sich über c befindet, kann kein Wasser aus dem Rohre b austreten, aber sobald das Loch c frei geworden ist, tritt eine kleine Wassermenge aus, und das Niveau erhöht sich sofort wieder derart, dass weiterer Ausfluss gehemmt wird. Wenn mithin in gegebener Zeit der Wasserstand im Rohre um a ccm sinkt, während f den Flächeninhalt des Gefässes, x die Verdunstungshöhe vorstellt, so ist für jenen Zeitraum $x = a : f$. Leider verhindert der Widerstand der die scharfen Ränder der Oeffnung c umspielenden Luft ein ganz regelmässiges Austreten des Wassers.

Fig. 14.



Die evaporimetrischen Methoden v. Lamonts [216], deren eine mit dem beim Atmometer Gasparin-Secchi-Cantoni [217] verwerteten Verfahren in der Hauptsache übereinstimmt, sollen hier nur gestreift werden, da sie trotz — oder vielleicht wegen — ihrer Feinheit sich im meteorologischen Beobachtungsdienste keine allgemeine Geltung erwirkt haben. Brauchbar ist jedenfalls das Atmometer von Prettner [218], welches bei Abschluss der Beobachtung die Nachfüllung eines gewissen Quantums Wasser verlangt, und eben dieses ist dann als Mass der stattgehabten Verdunstung zu betrachten.

Das Wägungsprinzip, mit dessen Nutzbarmachung das XVIII. Jahrhundert (s. o.) nur unvollkommen zurecht gekommen war, hat später seine Auferstehung gefeiert bei den Instrumenten von H. Wild [219] und Osnaghi [220]. Bei beiden ist es das System der Brief- oder Zeigerwage, welche mit glücklichem Griffe verdunstende Wassermengen zur automatischen Registrierung bringt. Das Evaporimeter Osnaghis [221] stellt sich uns in Fig. 15 vor Augen.

Das Verdampfungsgefäss S wird durch den Stahlstab ss getragen, der selbst wieder auf einer Feder F aufruht. Das Stäbchen ss trägt hinwiederum einen Metallrahmen mn; dieser spannt einen Faden, der sich um eine auf der Zeigerachse A befestigte Welle schlingt. Der Zeiger Z spielt auf der Kreiseinteilung ab hin und her, je nachdem im Gefässe S sich mehr oder weniger Wasser vorfindet, und es kann folglich der augenblickliche Zeigerstand den durch Evaporation bedingten Wasserverlust anzeigen.

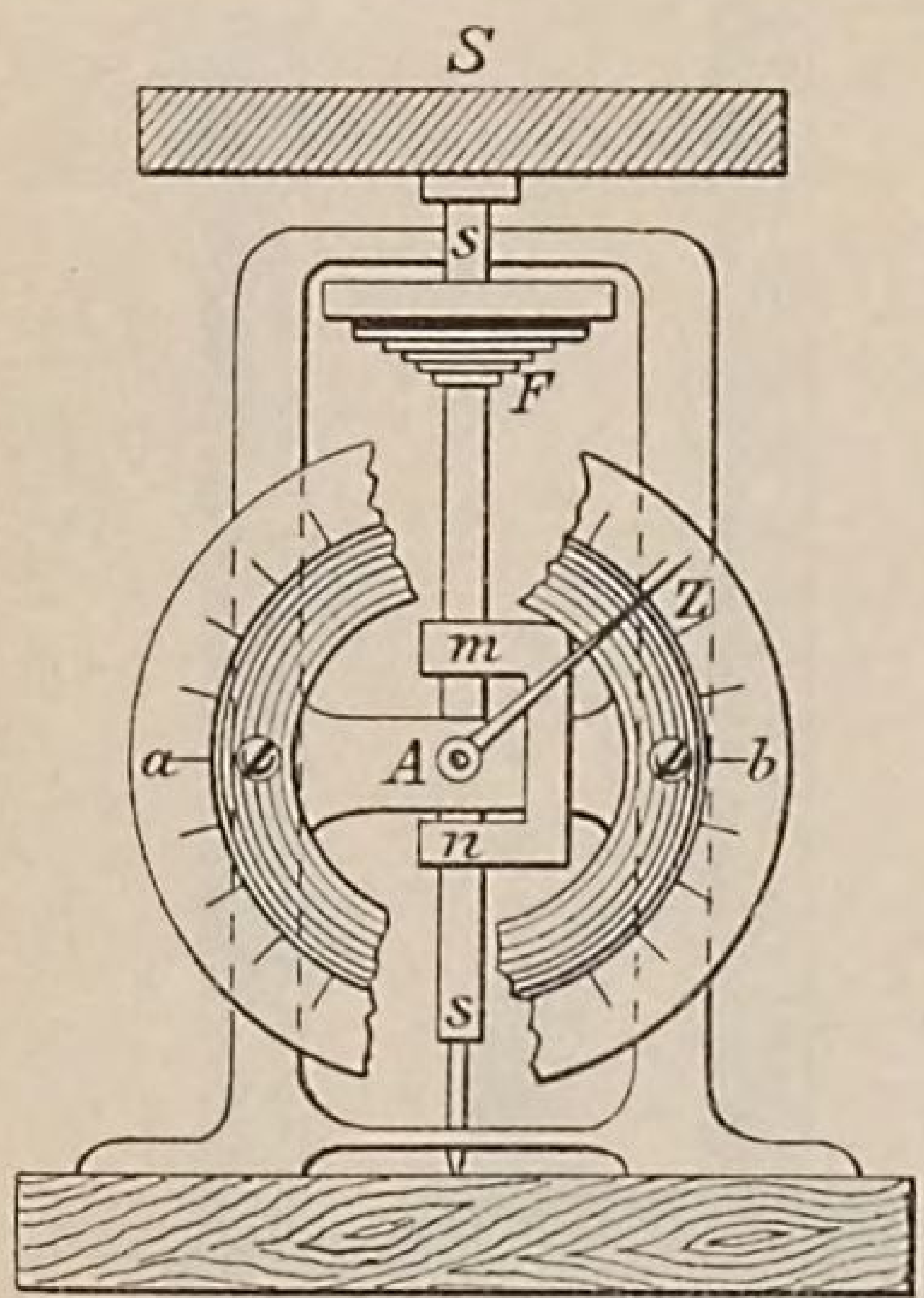
Aus den bisher angestellten, umfänglicheren Beobachtungen über Verdunstung, an denen sich zumal Ragona und Ebermayer beteiligt haben, ziehen wir folgende allgemeine Schlüsse [222]: I. Mit Sand und Erde vermischtes Wasser verdunstet energischer als reine Flüssigkeit. II. Thonboden verhält sich hinsichtlich der Verdunstung zu Kalkboden wie 20 : 23,

und mit der Bepflanzung erhöht sich rasch die Fähigkeit, Wasser an die Luft zu verlieren. III. Der jährliche Gang der Verdunstung schmiegt sich der Jahreskurve der absoluten Feuchtigkeit sehr genau an.

Salze, die im Wasser aufgelöst sind, wirken umgekehrt wie erdige Bestandteile. Die Angaben, bis zu welchem Maſse Salzwasser langsamer als gewöhnliches Wasser verdunstet, sind allerdings keine übereinstimmenden, doch ist die Thatsache selbst [223] nicht zu bezweifeln.

§. 12. **Regenmesser.** Eine dritte Gattung von Apparaten, welche sich auf die Ermittelung der atmosphärischen Feuchtigkeit beziehen, ist gegeben durch die Regenmesser, welche man wohl auch Pluviometer (pluvius, Regen), Ombrometer (ὄμβρος, langsamer Regen), Hyetometer (ὑετός, heftiger Regen) nennt. Sobald es sich nicht um Registrierung handelt, ist der Vorgang des Messens der denkbarst einfache: man läſst den Regen in einem Aufnahmegefässe sich sammeln und leert dieses in ein Messgefäss aus.

Fig. 15.



Unter der Voraussetzung, dass das letztere eine stets gleich bleibende Bodenfläche besitzt, kann man die Regenmenge durch die Regenhöhe ersetzen; gewöhnlich wird also die Quantität des gefallenen Wassers in Millimeter oder Centimeter ausgedrückt. Im allgemeinen pflegt man zwischen Wasser, Schnee und Eis einen Unterschied nicht zu machen, da ja das vom Ombrometer aufgenommene feste Wasser doch schliesslich schmilzt und in diesem Zustande also der Messung anheimfällt. In neuerer Zeit aber stellte es sich mehr und mehr als wünschenswert heraus, Schneemengen als solche möglichst genau messen zu können, wie man andererseits auch nicht versäumt, die Mächtigkeit der den Boden bedeckenden Schneelager mit Hilfe besonderer Messtangen, der zuerst von C. Lang gebrauchten Schneepegel [224], zu ermitteln. Was die Versuche zu einer unmittelbaren Bestimmung des Schneefalles betrifft, so sind dieselben noch nicht als abgeschlossen zu erachten. Ein kombinierter Schnee- und Regenmesser wurde von Hellmann konstruiert.

Am umfassendsten ist mit der Messung der Schneedicke Russland vorgegangen, wie man aus der hierher gehörigen Abhandlung von Berg [225] ersehen kann. Seit 1890 finden solche Messungen an 504 über das weite Reich verstreuten Stationen statt, und es wurde so auch Material beschafft zur Entscheidung der zwischen Woeikow und Brückner strittig gebliebene Frage, ob eine Schneedecke der Verdunstung oder der Kondensation atmosphärischen Wasserdampfes günstiger sei. Nach P. A. Müller [226] dürfte die Verdunstung entschieden vorwiegen.

Nicht gleichgültig ist der Ort, an welchem ein Regenmesser aufgestellt wird, und insonderheit muss auf die Entfernung vom Boden Rücksicht genommen werden. Aeltere ombrometrische Aufzeichnungen verlieren an Wert, wenn man über dieses Verhältnis sich nicht mehr aufklären kann.

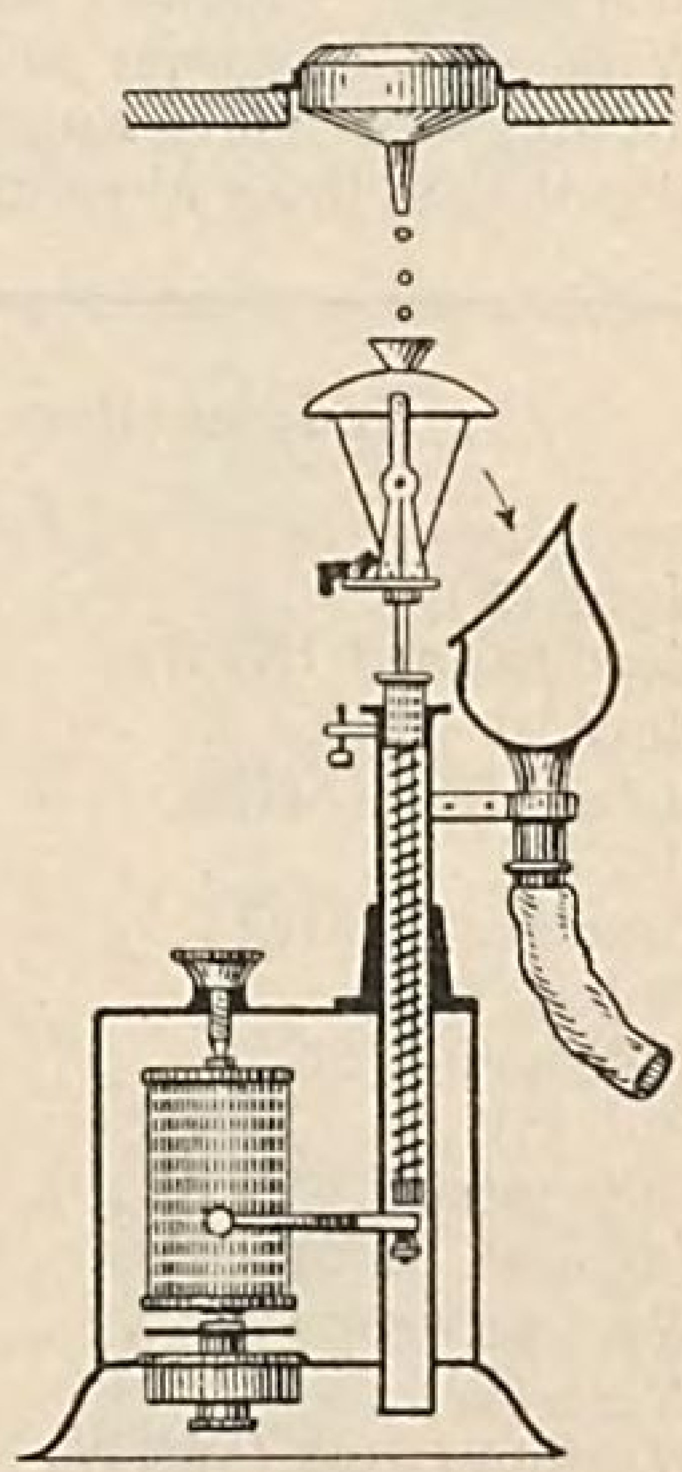
Dines [227] fand, dass die von zwei Regenmessern A und B während eines Jahres gelieferten Wassermengen das Verhältnis 100 : 127 einhielten, wenn Regen-

messer A auf einer 15 m hohen Plattform, Regenmesser B dagegen sehr nahe dem Erdboden postiert war. In der höheren Region wirbelte der Wind stärker und trieb die Regentropfen seitwärts ab, so dass sie nicht in die Oeffnung des Ombrometers hineinfallen konnten. Der Nipher sche Schutztrichter scheint auch nicht in allen Fällen Vorteile zu gewähren. Der jetzt — seit 1886 — in Deutschland meistgebrauchte Regenmesser von Hellmann hat eine ziemlich harte Probe, welcher ihn Symmons unterzog, sehr gut bestanden [228]. Wenn man das Instrument gegen den Wind gehörig schützt, so schadet auch eine grössere Höhe nichts, wie Hellmann nachwies; bei allen Regenmessern ohne Ausnahme wies van Bebber eine mit Vermehrung der Windgeschwindigkeit steigende Abnahme der Regenmenge nach [229]. Derselbe Meteorologe hat auch gezeigt, dass die Einrichtung des Ombrometers, wenn nur sonst alle Voraussetzungen erfüllt sind, für das Ergebnis der Beobachtung von untergeordneter Bedeutung ist.

Der erste selbstthätige Regenaufzeichner wurde, wie aus den geschichtlichen Ermittelungen von Hellmann [230] zu schliessen ist, 1789 von C. G. Hermann beschrieben [231]. Alsdann folgte Mohr [232] mit einem solchen Apparate nach. Neuerdings ist auch die elektrische Registrierung in den Dienst der Pluviometrie gestellt worden.

Von dem dänischen Meteorologen Rung rührt, neben anderen Instrumenten ähnlicher Tendenz, auch ein automatischer Ombrograph her [233]. Auf dem Dache des Beobachtungsraumes ist eine grosse konische Sammelschale angebracht, und von ihr fliesst das Wasser zu einer weiteren Schale, deren horizontale Drehungsachse an einem bifilar aufgehängten Rahmen befestigt ist. Sobald eine 5 mm Regenhöhe entsprechende Wassermenge in diesem zweiten Behälter aufgespeichert ist, kippt dasselbe um, und zugleich mit diesem Prozesse des Umkippens tritt eine der ersten völlig analoge zweite Schale an deren Stelle. Durch eine sehr sinnreich ausgedachte Hebelverbindung verzeichnet sich der augenblickliche Wasserstand auf einem stetig abrollenden Papierstreifen. Der in Fig. 16 abgebildete Ombrograph des mechanischen Ateliers O. Ney in Berlin lässt hinreichend deutlich erkennen, wie der Schreibstift an der rotierenden Trommel sich hinbewegt, wenn aus dem Sammelbecken mehr und mehr Wasser in die auf einer Feder stehende zweite Schale fällt und so erstere niederdrückt, bis dann endlich eine Entleerung in das Abflussrohr eintritt. Hier ist also die mechanische Potenz des fallenden Wassers der die Registrierung bewirkende Faktor; die dabei in Betracht zu ziehenden Nebenumstände und Fehlerquellen hat Binnie [234] zum Gegenstande einer selbständigen Untersuchung gemacht.

Fig. 16.



§. 13. Apparate zur Bestimmung von Windrichtung und Windstärke. Bewegte Luft nennen wir Wind. Bei jeder Bewegung kommen deren Richtung und deren Geschwindigkeit resp. Beschleunigung in Frage, und der atmosphärischen Physik war deshalb frühzeitig die Aufgabe gestellt, Apparate zu erdenken, mittelst deren die erwähnten Elemente sich bestimmen lassen. Von der Geschwindigkeit hängt die gleichfalls sehr wichtige Windstärke ab. Was die Windrichtung angeht, so kommen alle Vorrichtungen, solange man die Winde als horizontale Luftbewegungen ansieht, auf das uralte Schema der — auf die Radien einer Windrose sich einstellenden — Windfahne hinaus, während allerdings die Apparate, welche eine Messung der Windstärke bezwecken, eine weit grössere Verschiedenheit der grundlegenden Maximen bekunden.

Im allgemeinen wird man jede Luftbewegung in zwei Komponenten, in eine horizontale und eine vertikale, zerlegen können; diese letztere ist — von Ausnahmen, wie den „Fallwinden“ (Kap. VI) abgesehen — niemals gross, so dass man auf ihre Ermittelung früher kein grosses Gewicht legen zu sollen glaubte [235]. Gegenwärtig denkt man hierüber anders, und es ist z. B. von Dechevrens ein eigenes Instrument, das Klinoanemoskop (κλίνειν, sich neigen; ἄνεμος, Wind) angegeben worden [236], welches den von der Windrichtung mit der Horizontalebene gebildeten Winkel angenähert zu bestimmen gestattet. Auch das von Klossowsky [237] in Odessa verwendete Registrierinstrument von Garrigou und C. Lagrange ist gleichmässig zur Fixierung beider Komponenten eingerichtet. In den allermeisten Fällen dagegen erweist sich eine mehr oder minder aptierte Windfahne als durchaus hinreichend.

Seit zwei Jahrhunderten schon ist es üblich, die Bewegung der Fahne durch eine Kombination von Zahnrädern derart auf eine Horizontalnadel zu übertragen, dass man die Ablesung bequem im Zimmer vorzunehmen vermochte. Von Ozanam, Leupold, Nollet sind solche Vorrichtungen bekannt [238], und auch die „Platte“, welche, nach Macaulays Bericht [239], in einem englischen Palaste die Bewunderung des Zaren Peter I. erregte, wird kaum etwas anderes gewesen sein. Die Kreisteilung, an welcher der Beobachter die Windrichtung abliest, stammt aus dem frühen Altertum.

Eine sehr gründliche Monographie über die Windrose, welche mit der Strichrose der Seeleute nicht ohne weiteres verwechselt werden darf [240], besitzt man von D'Avezac [241]. Eine erste autoritative Festsetzung datiert, wie Kaibel [242] nachwies, von Aristoteles, aber an derselben wurden von Timosthenes und von Varro Verfeinerungen angebracht, und allgemach bildete sich eine griechisch-römische, mutmasslich auch durch etruskische Reminiszenzen beeinflusste Vulgata heraus. Doch waren die Bezeichnungen für die einzelnen Winde noch immer schwankend [243], wie man aus der folgenden Gegenüberstellung der heute anerkannten Windnamen mit der antiken und mit einer mittelalterlichen Rose abnehmen kann. Diese Vergleichung führt zu folgender Tabelle:

Moderne Rose	Rose des Isidorus Hispalensis (VII. Jahrh.)	Antike Rose
Nord (N)	Boreas	Septentrio
Nordostnord (NEN)	} Aquilo	} Aquilo
Nordost (NE)		
Ostnordost (ENE)	} Vulturnus	} Vulturnus
Ost (E)	Subsolanus	Subsolanus
Ostsüdost (ESE)	} Eurus	} Eurus
Südost (SE)		
Südostsüd (SES)	} Notus	} Euro-Auster
Süd (S)	Auster.	Auster
Südwestsüd (SWS)	} Africus	} Austro-Africus
Südwest (SW)		
Westsüdwest (WSW)	} Zephyrus	} Africus
West (W)	Favonius	Favonius
Westnordwest (WNW) . . .	} Circius	} Chorus
Nordwest (NW)		
Nordwestnord (NWN)	} Chorus	} Circius

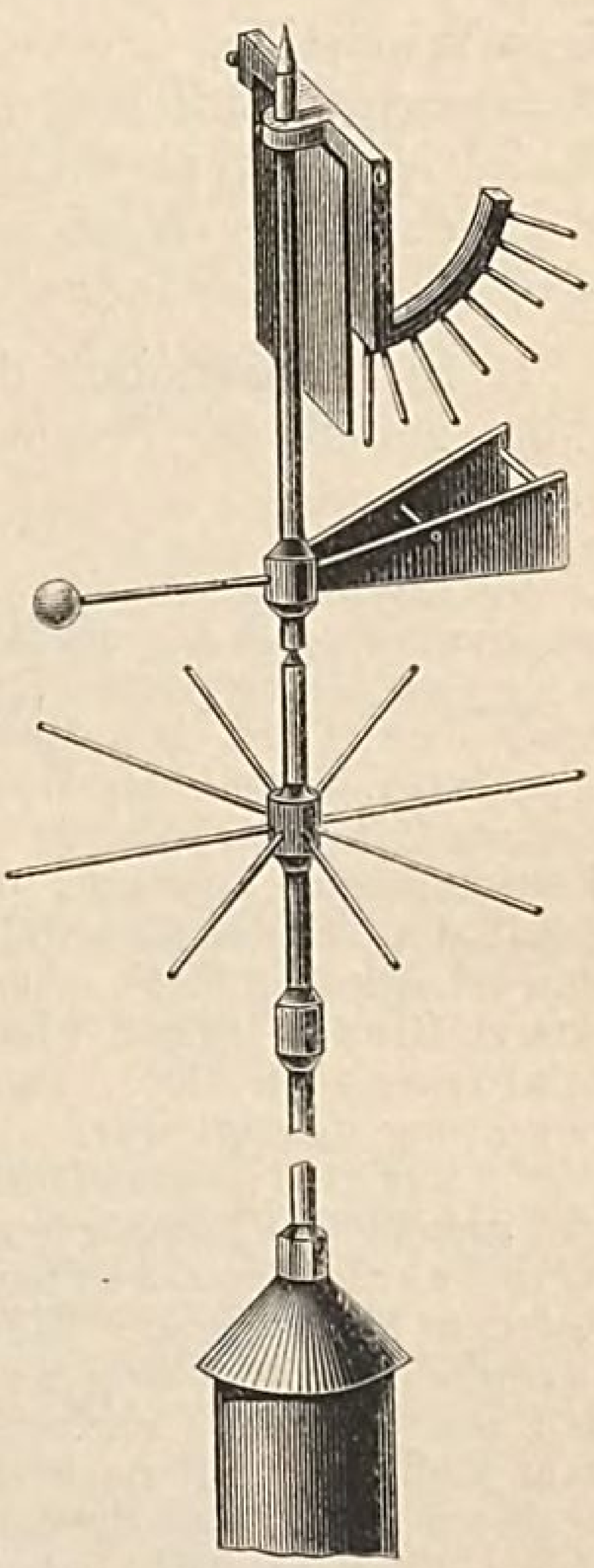
Der Sitte, den Ostwind durch den Buchstaben E zu kennzeichnen, ist oben (I, S. 459) Erwähnung gethan worden. — Als ein höchst interessantes architektonisches Denkmal hellenistischer Windcharakteristik ist der von Hellmann [244] auf sein eigentliches Wesen geprüfte „Turm der Winde“ in Athen zu betrachten, den Andronicus wahrscheinlich im II. Jahrhundert unserer Zeitrechnung aufführen liess.

Den Windzeigern schliessen sich in unserer Erörterung die Windmesser an. Hier lassen sich, wie oben schon angedeutet ward, zwei Grundsätze auseinanderhalten: Man kann die mechanische

Energie der bewegten Luft direkt zu messen suchen; man kann aber auch die Geschwindigkeit ermitteln und aus ihr auf die Stärke schliessen. Ein reich bestelltes Instrumentarium dient schon seit älterer Zeit dem einen und dem anderen Zwecke.

Die Idee, eine vertikal frei herabhängende Scheibe durch den Wind in Bewegung setzen zu lassen und den sich ergebenden Ausschlagswinkel als Mass der Windstärke zu betrachten, wurde nach Muncke zuerst von einem Unbekannten in der zweiten Hälfte des XVII. Jahrhunderts ausgesprochen [245]. Auszubilden suchten dieses Messungsprinzip Pickering und Oertel, während v. Dalberg [246] die freie Platte um eine vertikale statt um eine horizontale Achse sich drehen lassen wollte. Andererseits dachte man auch daran, eine dem Winde direkt entgegenzustellende Tafel an die Oeffnung eines hohlen, hinten abgeschlossenen Parallelepipedums zu stellen und dieselbe durch eine Spiralfeder in ihrer Stellung zu erhalten; wenn dann der Wind die Tafel traf, so trieb er sie in den Kasten mehr oder weniger tief hinein, und der zurückgelegte Weg sollte die Intensität des Stosses messen. Auch solche Anemometer, deren Prinzip auf Bouguer [247] zurückgeht, sind vielfach modifiziert worden [248]. Freilich eine exakte theoretische Ableitung der Beziehung, in welcher Windstärke und Ortsveränderung in beiden Fällen zu einander stehen, gibt es nicht, obwohl schon Kästner [249] hiezu einen Ansatz gemacht und später von Crelle [250] und Zernikow [251] je eine besondere Theorie des Windstosses aufgestellt worden ist. Die Skalen müssen vielmehr empirisch geteilt werden; wenn aber dies in der richtigen Weise geschieht, so ist sowohl auf die eine wie auf die andere Weise ein guter Erfolg zu erzielen; dies beweisen auf der einen Seite Wilds Windstärketafel [252], auf der anderen das Bouguer-Beaufoysche Anemometer [253]. Von ersterem Instrument gibt Fig. 17 ein ohne viele Worte sich selbst erklärendes Bild, aus welchem zugleich ersichtlich ist, dass der Windstärkemesser zugleich als Windfahne fungiert.

Fig. 17.



Wenn ein um eine Achse drehbarer Körper durch den Wind nicht nur vorübergehend aus seiner Lage abgelenkt, sondern dauernd in Rotation versetzt wird, so liefert die Umdrehungsgeschwindigkeit ein Mass der Windgeschwindigkeit. Diesem Grundgedanken passte zuerst C. v. Wolf [254] eine anemometrische Vorrichtung an, die später weit überholt wurde durch das auf den meisten Observatorien zur Einführung gelangte Robinsonsche Schalenanemometer [255]. Zwei gleichlange Stangen bilden ein horizontales, rechtwinkliges Achsenkreuz, und am Ende einer jeden Stangenhälfte ist eine hohle Halbkugel angebracht; der Wind fängt sich unausgesetzt in diesen Hohlräumen und treibt das Schalenkreuz um, indem zugleich mittelst einer Zahnradverbindung — ähnlich derjenigen, mittelst deren bereits Vitruvius seine Hodometer (ὁδός, Weg) oder Schrittzähler zusammenstellte [256] — die Registrierung der momentan erreichten Geschwindigkeit ermöglicht wird.

Natürlich ist damit die Aufgabe der Windstärkemessung noch nicht zugleich erledigt, denn es kommt nun noch darauf an, die gesetzmässige Abhängigkeit der Stärke von der Geschwindigkeit festzustellen. Zu solchen Untersuchungen eignet sich vorzüglich der Rotationsapparat von Recknagel [257], über den ausgedehnte Studien v. Hasenkamps [258] vorliegen. Es wird durch denselben künstlicher Wind erzeugt, indem man zugleich mit dem Arme des Rotationsmechanismus die Achse des zu untersuchenden Schalenanemometers verbunden hat. Man kann so auch die Grösse des Fehlers herausfinden, welcher durch nicht genau vertikale Achsenstellung bedingt ist. Die Berechnungsformeln wurden von

Thiesen [259] entwickelt. Auch von Sprung besitzen wir eine zwischen den Geschwindigkeiten der Schalen und des Windes selber vermittelnde Formel, denn es leuchtet ein, dass diese beiden nicht völlig sich gleichkommen werden, u. a. schon deshalb, weil durch die bei jeder Achsendrehung unvermeidliche, durch Monros Friktionskugeln [260], ungefähr wie bei den Fahrrädern, allerdings zu vermindernde Reibung die Bewegung verlangsamt wird. Langley beschreibt [261] das Diagramm eines dem Alleghany-Observatorium gehörigen Schaleninstrumentes, auf welchem sich je immer 25 Umdrehungen des erwähnten Kreuzes markieren.

Ein natürliches, sich ungesucht darbietendes Mass der Windstärke besitzen wir nicht, und darum sehen wir uns in die Notwendigkeit versetzt, von konventionellen Masseinheiten Gebrauch zu machen. Allgemein üblich ist die Benützung der nach einem amerikanischen Nautiker diesen Namen führenden Beaufortschen Skale [262], deren Wesen in nachstehendem Schema sich ausspricht:

0 = Windstille,	5 = frische Brise,	9 = Sturm,
1 = sanftes Lüftchen,	6 = starke Brise,	10 = starker Sturm,
2 = leichtes Wehen,	7 = steife Brise,	11 = heftiger Sturm,
3 = schwacher Wind,	8 = stürmische Luftbewegung,	12 = Orkan.
4 = mässiger Wind,		

So unbestimmt diese Definitionen auch lauten mögen, so weiss doch zumal der Seemann ihnen meist einen klaren, eindeutigen Sinn unterzulegen.

An die schwierige Aufgabe, die Beaufortsche Skalenwerte auf ein im physikalischen Sinne absolutes Mass (c, g, s) zurückzuführen (I, S. 523), ist zuerst Köppen herangetreten [263]. Auch Knipping [264] war bestrebt, die Angaben nach Beaufort dem Metermasse anzugleichen. Natürlich kann man auch mit Apparaten, welche das Bouguersche Prinzip (s. o.) einhalten und nur im Sinne des von Stevenson für Flutdruck aptierten Gezeitenmessers [265] genauere Bestimmungen zulassen, den Winddruck messen, welcher ja der lebendigen Kraft des Windes gleichfalls entspricht. Als man die neue Eisenbahnbrücke über den schottischen Firth of Forth erbaute, nahm man, vorhandene Messungen solcher Art zu Grunde legend, einen Winddruck von 272 kg pro 1 qm als Maximaldruck an [266], nachdem ein solcher von 185 kg wirklich einmal zur Beobachtung gelangt war.

Der Ort, an welchem ein Anemometer aufgestellt ist, darf durchaus nicht als gleichgültig angesehen werden; in verschiedenen Höhen sind die Windverhältnisse in jeder Hinsicht verschieden. So fand Sprung [267] auf dem 300 m hohen Eiffelturm in Paris die Tagesperiode des Windes sowohl bezüglich der Richtung als auch bezüglich der Geschwindigkeit ganz verschieden von der sonstigen Pariser Tagesperiode und selbst für geringere Entfernungen vom Erdboden gilt nach Hergesell [268] ein Gleiches. „Seit 1892 ist auf der höchsten Spitze des Strassburger Münsters ein Anemometer Recknagel aufgestellt; ein ganz gleich gebautes Instrument funktioniert 100 m tiefer auf der Spitze des Turmes der Wasserleitung. Das Anemometer auf der Münsterhöhe hat nun erwiesen, dass schon in jener relativ niedrigen Höhe von 144 m über dem Erdboden ganz bedeutende Windgeschwindigkeiten vorkommen. Das Jahresmittel betrug 6 m in der Sekunde. Es ist dies eine Zahl, welche die mittlere jährliche Geschwindigkeit auf den Gipfeln unserer Mittelgebirge erreicht . . . Das 100 m tiefer stehende Anemometer weist nach, dass jene bedeutenden Luftgeschwindigkeiten zu gewissen Zeiten sehr oft tief herabsteigen und oft den Erdboden erreichen.“ Aus dem Gesagten ergibt sich die Berechtigung der Forderung: Sollen anemometrische Notierungen untereinander vergleichbar sein, so müssen die relativen Höhen der Aufstellungsorte ganz oder doch nahezu gleich sein.

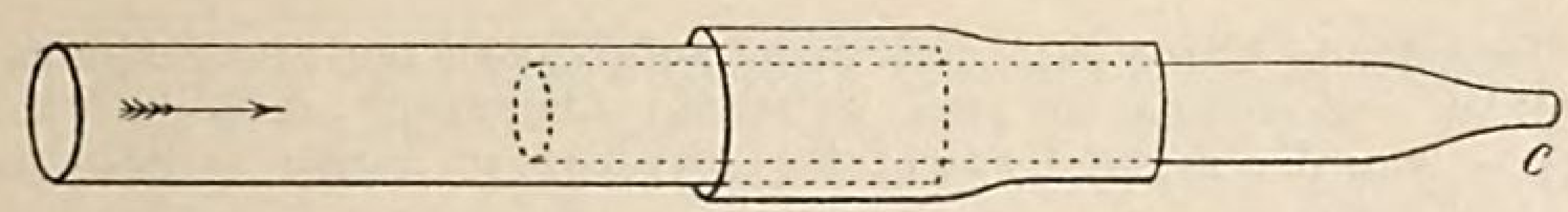
§. 14. **Anderweite meteorologische Instrumente.** Damit ist die Besprechung derjenigen Apparate erschöpft, welche sozusagen den

eisernen Bestand der Meteorologie ausmachen. Doch gibt es natürlich noch gar manche andere, die aber einen so spezifischen Charakter an sich tragen, dass sie besser erst an dem Orte ihre Erwähnung finden, an welchem die mit ihrer Hilfe zu lösenden Aufgaben erörtert werden. So teilen wir alles, was auf die Bestimmung der Himmelsbläue Bezug hat, unserem dritten, die elektrischen Messapparate unserem vierten, die aktinometrischen und bolometrischen Vorrichtungen unserem siebenten (dem klimatologischen) Kapitel zu. Ein Bedürfnis zur Erstellung von Drosometern (δρόσος, Tau), wie solche Wells und Harvey ins Auge fassten [269], erkennt die Wissenschaft unserer Tage (vgl. S. 25) nicht mehr an. Es bleiben uns sonach nur mehr drei Kategorien von Instrumenten an dieser Stelle übrig.

a) **Ozonometrische Apparate.** Da, wie schon früher nach v. Ilosvay [270] angeführt ward, sichere Kennzeichen zur Konstatierung des Vorhandenseins von Ozon in der Atmosphäre nicht zu Gebote stehen, so hat die gesamte Ozonometrie keinen sehr hohen Wert. Immerhin muss auch hier von den Hilfsmitteln Rechenschaft gegeben werden, deren man sich bedient, um einen grösseren oder geringeren Anteil der Luft an dem — vielleicht nur vermeintlichen — Ozon nachzuweisen.

Jodkaliumkleister ist ein Stoff, der hiefür besonders geeignet erscheint. Man taucht Streifen von Filtrierpapier in eine Lösung von Jodkaliumstärke, setzt sie der freien Luft aus und befeuchtet sie dann, worauf der Streifen eine um so intensiver blauviolette Färbung erhalten soll, je grösser der atmosphärische Ozongehalt wäre. Da aber jedes gewöhnliche Ozonometer zugleich als Hygroskop

Fig. 18.



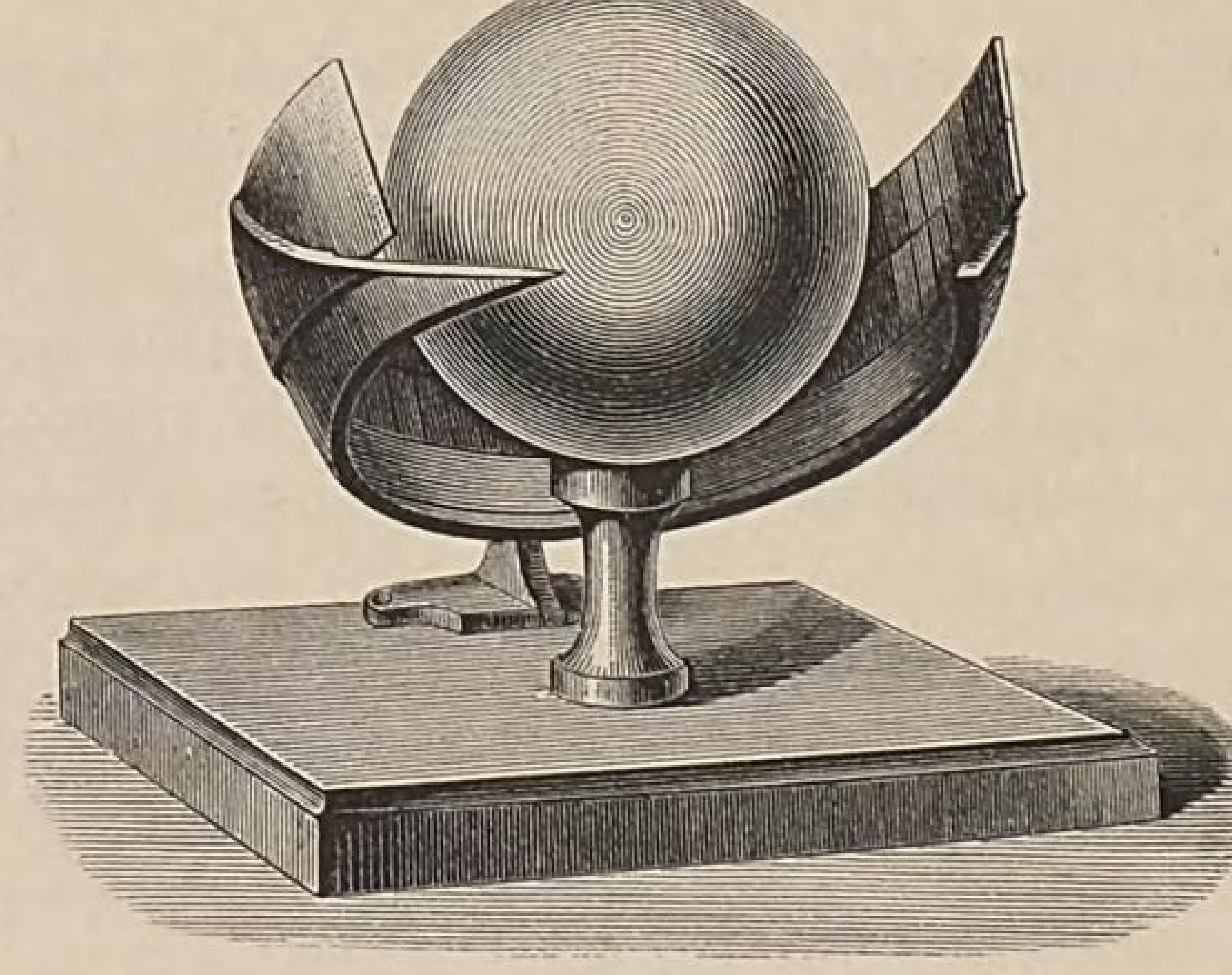
wirkt, so ist schon aus diesem Grunde die vermeintliche Messung wenig genau, während die Wolffhügelsche Ozonbüchse nach van Bebber [271] diesem Mangel teilweise begegnet. Nach Massgabe der Fig. 18 ist eine längere Glasröhre in eine kürzere, weitere gesteckt, während ein Stück Kautschukrohr luftdichten Verschluss bewirkt. Die weitere Röhre ist geschwärzt; das Reagenzpapier überspannt teilweise die Oeffnung, und wenn man bei c saugt, so geht die Luft über den Papierstreifen hinweg, der dann in angegebener Weise weiter behandelt wird. Auch gibt es chemische Präparate, welche den Zweck noch besser erfüllen sollen, allein zu hochgespannten Erwartungen berechtigt keine ozonometrische Prozedur.

Sehr wünschenswert ist es, zu wissen, einen wie grossen Teil des Tages die Sonne hell scheint. Um dies zu erfahren, bedient man sich der

b) **Sonnenscheinregistratoren**, welche die Engländer zuerst als „Sunshine-Recorder“ der Meteorologie dienstbar gemacht haben. Einmal kommt es darauf an, die Veränderungen erkennbar zu machen, welche zweckmässig präparierte Stoffe unter der direkten Einwirkung der Sonnenstrahlen erleiden; andererseits kann auch die Verschiedenheit des thermometrischen Effektes, der bei Sonnenstrahlung und bedecktem Himmel natürlich nicht der gleiche ist, das metrische Element liefern.

Im letzteren Sinne arbeitet der Registrator von Campbell-Stokes [272], mit dem uns Fig. 19 bekannt macht. Die Glaskugel sammelt die Sonnenstrahlen und bewirkt, dass auf einem zylindrischen Papierstreifen, der erstere in überall gleichem Abstande umgibt, ein schwarzer Punkt entsteht. Die Länge der schwarz gefärbten Linienstücke ist der Zeit, während welcher die Sonne unverhüllt schien, proportional. Das photographische Prinzip wenden z. B. Jordan [273] und J. Maurer [274] an. Die zylindrische Kamera ist auf einer Grundplatte parallaktisch montiert, so dass die Achse in die Meridianebene zu liegen kommt. Je eine für die Früh- und Nachmittagshälfte des Sonnenscheintages bestimmte Oeffnung gestattet, dass die Sonnenstrahlen in das Innere der Dunkelkammer eintreten und dort lichtempfindliches Papier treffen; auf diesem entsteht dann eine bläuliche Kurve, welche durch Eintauchen des losgewickelten Papiers in Wasser fixiert werden kann. Der entschiedene Nachteil,

Fig. 19.



dass die betreffende Kurve mit den zuvor aufgezeichneten Stundenlinien schiefe Winkel bildet und zudem in zwei getrennte Linienzüge zerfällt, wird durch Maurers — von der Firma Usteri-Reinacher in Zürich zu beziehenden — Apparat aufgehoben.

Die Sonnenscheinaufzeichner gewähren, wie sich zeigen wird, eine gute Einsicht in gewisse klimatologische Fragen, von denen hier nur diejenige nach den charakteristischen Eigenschaften klimatischer Kurorte angeführt sein möge. Hann wies für Wien nach [275], dass im Juni, wenn er heiter und warm ist, das Sonnenscheinmaximum auf den Morgen fällt, wogegen dann, wenn in jenem Monate Neigung zu trübem und kühlem Wetter vorwaltet, das erwähnte Maximum die Nachmittage bevorzugt.

c) **Nephoskope** (νῆφος, Wolke). Hierunter versteht man wesentlich Spiegel, durch deren Betrachtung man bequem über Gestalt, Wechselspiel und Zug der Wolken sich orientieren kann. Durch Fineman und Sprung ist das Nephoskop zur Ermittelung der Geschwindigkeit, mit welcher eine Wolke sich bewegt, zugerichtet worden [276]. Auch die Photogrammetrie (Koppe, I, S. 307) greift hilfreich ein.

§. 15. **Meteorographen.** Von selbstregistrierenden Instrumenten ist in den vorhergehenden Paragraphen zum öfteren die Rede gewesen. Doch wurde nur immer je eine Vorrichtung, welche den Gang eines ganz bestimmten meteorologischen Elementes automatisch aufschrieb, für sich betrachtet. Nun kann man jedoch auch darauf ausgehen, in einem einzigen Apparate eine ganze Anzahl solcher Schreibmechanismen zu vereinigen, und ein derartiger Kumu-

lativmechanismus wird nach dem Vorgange von Secchi [277] Meteorograph genannt.

Eine sehr ausgiebige Verbreitung haben dieselben allerdings noch nicht gefunden, weil ihre Herstellung eine kostspielige ist. Zu einer sehr hohen Vollendung wurde die Idee des automatischen Aufzeichnens sämtlicher Witterungsfaktoren gebracht in den Apparaten des Schweden Theorell [278] und des Niederländers van Rysselberghe [279]. Die Maschine Theorells druckt sofort die Angaben jedes einzelnen Maschinenbestandteiles in Ziffern und macht dadurch alle Reduktionen überflüssig; Windfahne, Anemometer, Psychrometer, Barometer und Thermometer stehen mit dem Hauptapparate in elektrischer Verbindung, und damit ist zugleich die Notierung der Beobachtungstermine gegeben, so dass täglich 96 Einzelwerte für Richtung und Stärke des Windes u. s. w. erhältlich sind. Bei dem niederländischen Apparate ist dem System direkter Zahlangabe dasjenige graphischer Aufzeichnung substituiert, indem sich durch feine Spitzen die Gangkurven auf Metallplatten einzeichnen. Neuerdings ist auch von Cerebotani ein solcher Universalmeteorograph angegeben, aber nur im engeren Kreise meteorologischer Gesellschaften demonstriert worden. Empfehlenswert bleiben stets Richards Mechanismen.

Voraussichtlich werden alle umfassend angelegten Selbstregistratoren dann ihre Kraft am besten offenbaren, wenn sie in Warten aufgestellt sind, welche durch längere Zeit keines Menschen Fuss zu betreten vermag. Dies gilt z. B. für Observatorium auf Hochgipfeln. Bei Jansens Montblanc-Warte z. B., die den ganzen Winter hindurch isoliert bleibt, trifft dies ganz besonders zu; der dort aufgestellte, von Richard in Paris verfertigte Meteorograph besitzt eine treibende Kraft von 90 kg [280], welches Gewicht in acht Monaten um etwa 6 m herabsinkt und Luftdruck, Feuchtigkeit, Richtung und Stärke des Windes fixiert.

Ein ganz anders beschaffenes, jedoch unter passenden Umständen sehr verwendbares meteorographisches Prinzip ist das der photographischen Abbildung. Dasselbe hat sich in dem berühmten astro- und geophysikalischen Observatorium von Kew bei London (I, S. 527) sehr gut bewährt.

Einigen von Whipple gegebenen Nachweisungen zufolge [281] gehen Versuche zur Festhaltung der Barometerschwankungen bis auf das Jahr 1838 zurück, ohne dass jedoch das als Substrat dienende Talbotsche Papier die ausreichende Empfindlichkeit besessen hätte. Erst 1847 kamen Ronald und Brooke zu befriedigendem Ziele, und die Schärfe der Abbildung stieg noch, seitdem 1882 Bromsilber-Gelatinepapier an die Stelle des vorher benützten Wachspapiers getreten war. Wenn wir uns denken, ein Streifen präparierten Papiers werde mit konstanter Geschwindigkeit hinter einem Thermo- oder Barometer vorübergeführt, während auf der anderen Seite des Instrumentes sich eine Lichtquelle befindet, so tragen alle diejenigen Lichtstrahlen, welche auf die Quecksilbersäule treffen, nichts zur Farbenveränderung der Aufnahmesubstanz bei, und für jeden Zeitmoment ist das unverändert gebliebene Vertikalstück des abgerollten Streifens genau ebenso gross, wie die Höhe des Quecksilbers in der Röhre des Instrumentes.

§. 16. **Beobachtungstermine.** Auch dann, wenn man Selbstregistratoren zur Verfügung hat, darf man auf direkte Vergleichung der Instrumente nicht verzichten, schon deshalb nicht, weil ja der Gang ersterer eine Störung erlitten haben könnte. Unmittelbare Beobachtung ist für den Kontrolldienst unerlässlich. Natürlich fragt es sich da, ob für die Zeiten der Ablesung gewisse Regeln sich ermitteln lassen. Dies ist besonders wichtig für das Thermometer, weil eine hinlänglich genaue Bestimmung der Mitteltemperatur eines Tages davon abhängt, dass jene Termine richtig über den ganzen Tag verteilt sind. Wesentlich auf die Temperatur beziehen sich demnach die folgenden Mitteilungen, indessen nehmen auch die anderen meteorologischen Elemente indirekt an dieser Bevorzugung einer Anzahl von Tagesstunden teil.

Eine gründliche Untersuchung der hiemit umschriebenen Frage hat man durch v. Bezold und Erk erhalten [282], und auch Hann [283] prüft dieselbe wegen ihrer Bedeutung für die Gewinnung richtiger klimatologischer Einsichten. Auch die Bemerkungen von Jelinek [284] und Hellmann [285] erheischen Beachtung. Nach den Ergebnissen der bayerischen Meteorologen würde die mittlere Tagestemperatur am zuverlässigsten durch die beiden Ausdrücke $\frac{1}{4}$ ($7^{ha} + 2^{hp} + 2{,}9^{hp}$) oder $\frac{1}{4}$ ($8^{ha} + 2^{hp} + 2{,}10^{hp}$) dargestellt werden [286]; 2^{ha} würde 2 Uhr vormittags (ante meridiem), 5^{hp} würde 5 Uhr nachmittags (post meridiem) bedeuten. Günstige Termine sind auch die nachstehenden: 6^{ha}, 2^{hp}, 10^{hp}; 7^{ha}, 2^{hp}, 9^{hp}; 7^{ha}, 1^{hp}, 9^{hp}; später als um sieben sollte die Morgenablesung überhaupt nicht gemacht werden. Der zweitgenannte Termin hat gute Aussichten für die Zukunft.

Stationen, welche, wie wohl die Regel, Extremthermometer besitzen, können auch diese geeignet heranziehen. Die Kombination $\frac{1}{2}$ (Min. + 3^{hp}) und $\frac{1}{4}$ (Min. + Max. + 9^{ha} + 9^{hp}) ergeben gute Mittelwerte, während der durch $\frac{1}{4}$ (Min. + Max. + 8^{ha} + 8^{hp}) bezeichnete etwas minder verlässig ist.

§. 17. **Graphische Methoden in der Meteorologie.** Wir sind soeben zur Berechnung der Mittelwerte hingeleitet worden und haben gesehen, wie man die Integration, welche in jedem solchen Falle eigentlich erfordert wird, approximativ durch eine Summenbildung ersetzt. Es trifft eine solche Näherungsrechnung grundsätzlich mit denjenigen Methoden zusammen, welche wir vordem (I, S. 317) für angenäherte Quadratur überhaupt kennen gelernt haben. Wenn man über Autographen gebietet, so kann der Mittelwert, der übrigens auch durch Anwendung algebraischer Methoden — im Sinne von Schlömilch [287] — zu finden wäre, rein operativ bestimmt werden, sobald man vom Planimeter (I, S. 318) entsprechenden Gebrauch macht.

Zwischen zwei Grenzordinaten y_1 und y_2 erstreckt sich ein Kurvenstück von irregulärem Charakter, welches etwa den Tagesgang irgend eines meteorologischen Elementes wiedergeben soll. Man lässt nun den Schreibstift eines Planimeters das Viereck umfahren, welches durch y_1 und y_2, durch die Kurve und durch das zwischen y_1 und y_2 gelegene Abszissenstück ξ bestimmt ist, und findet etwa dafür den Wert J. Wenn dann ω die mittlere Ordinate vorstellt, hat man:

$$J = \omega \xi, \quad \omega = J : \xi.$$

Wenn die Kurve nahezu als gerade Linie angesehen werden darf, so kann nach dem Satze vom arithmetischen Mittel $\omega = \frac{1}{2}(y_1 + y_2)$ gesetzt werden.

Auch ein anderes Problem, zu welchem der klimatologische Teil der atmosphärischen Physik führt, ist bereits im ersten Bande (I, S. 320) vorweggenommen worden. Es handelt sich um die sogenannten Isoplethen.

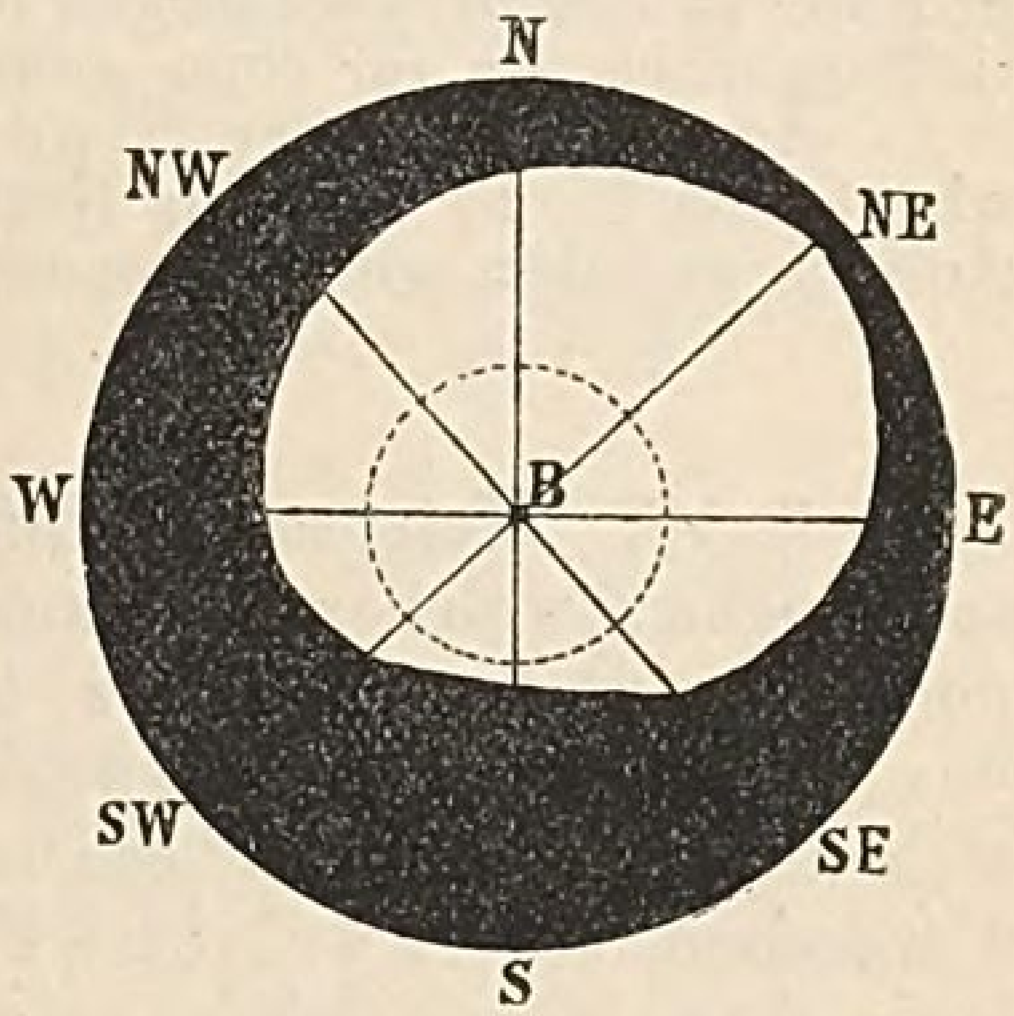
Dieselben treten immer dann in die Erscheinung, wenn zwei unabhängig veränderliche Grössen konkurrieren, wenn also eine Gleichung $z = f(x, y)$ vorliegt. Wir sahen, dass man alsdann für konsekutive Werte von z die Kurven $f(x, y) =$ Konst. wirklich im rechtwinkligen Achsensystem verzeichnet und dann jenen Punkt einer solchen Einzelkurve als den gesuchten anspricht, der einem bestimmten Paare (x, y) zugehört. Auch wurden oben (I, S. 330, 331) Beispiele für den praktischen Wert derartiger Diagramme angeführt; die letzteren erreichen in ihrer Art genau dasselbe, was auch der Zeichner erreicht, wenn er eine Terrainerhöhung durch Isohypsen darstellt.

Auf ein anderes Gebiet der meteorologischen Graphik werden wir hingewiesen durch die sogenannten Windrosen, deren Gebrauch wir durch den berühmten Geologen L. v. Buch (I, S. 24) kennen gelernt haben. Er konstruierte zuerst barometrische Windrosen [288].

Nachmals hat man die sinnreiche Idee weiter entwickelt zur generellen Behandlung der Frage: Wie hängen die wechselnden Werte der meteorologischen Elemente mit den Windrichtungen zusammen? In die didaktische Litteratur hat vornehmlich Lommel [289] die Windrosen eingeführt.

Man zeichnet einen Kreis mit 8 — oder auch 16 — den Hauptrichtungen des Horizontes entsprechenden Radien. Auf einem derselben trägt man ganz willkürlich eine Strecke a ab, welche anzeigt, wie das gerade in Rede stehende Element von dem betreffenden Winde abhängt. Der numerische Wert dieser Abhängigkeit für den betreffenden Wind sei α, für eine zweite Windrichtung dagegen β. Alsdann wird auf der diese letztere Richtung andeutenden Radspeiche eine Strecke b abgetragen, welche durch die Proportion $\alpha : \beta = a : b$ bestimmt ist. Durch die 8 — oder 16 — Endpunkte der so erhaltenen Strecken zieht man mit freier Hand eine Kurve, und die Rose ist fertig. Zu besserer Hervorhebung derselben füllt man den Raum zwischen Kurvenzug und Kreisperipherie schwarz aus, so wie das in Fig. 20 geschah. Hier ist B die Stadt Berlin, und die Rose verfolgt diesmal lediglich den Zweck, zu zeigen, wie gross eine bestimmte Windfrequenz am fraglichen Orte ist.

Fig. 20.



Dove fügte den barischen Windrosen, so sagt man jetzt gewöhnlich kürzer, auch noch die thermische und atmische bei [290], welch letztere also darüber Aufschluss gibt, wie sich beim Wehen eines bestimmten Windes die Feuchtigkeitsverhältnisse gestalten; v. Lamont [291] zog die ombrische, Lommel [292] die nephische, Prestel [293] die ozonoskopische Windrose in Betracht, und selbst die Frage, ob wohl die Intensität der Windbewegung eine Funktion der Windrichtung sei, kommt bei Lösches [294] anemometrischer Rose zu partieller Lösung.

Man bemerkt schon beim blossen Betrachten der Windrosen, wenn dieselben für längere Zeiträume vorliegen, wie die meteorologischen Zustände eines gegebenen Ortes von der Windrichtung abhängen. So ist z. B. nach Hann [295] sowohl für den Ben Nevis (Schottland), wie auch für den Sonnblick (Tauern) das thermische Verhalten der Winde jahraus jahrein nahezu ein gleiches. Und Schreiber [296] hat es ermöglicht, für das Klima der sächsischen Ebene lediglich durch das Studium der Windrosen allgemeine Gesichtspunkte zu gewinnen.

Zu den graphischen Methoden haben wir auch das von Lambert [297] ersonnene Verfahren zu rechnen, eine Windresultante aus Komponenten rechnerisch oder zeichnerisch zusammenzusetzen. Man stützt sich dabei wesentlich auf den Satz vom Kräfteparallelogramm. Als zu schematisch hat die sogenannte Lambertsche Formel manchen Gegner, neuerdings aber auch wieder Verteidiger gefunden.

Wir zeichnen eine Rose und nehmen die Ostrichtung zur positiven Abszissenachse, die Nordrichtung zur positiven Ordinatenachse. Es mögen nun a Windrichtungen als beobachtet vorliegen; wenn uns die Aufgabe gestellt ist, die dem betreffenden Zeitabschnitte entsprechende mittlere Windrichtung auszumitteln, so verteilen wir zunächst unsere a Windrichtungen, im Einklange mit den Beobachtungen, auf die 8 — oder 16 — Kardinalrichtungen und finden etwa, dass sie so, wie folgt, zusammengehören:

N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
α	β	γ	δ	ε	ζ	η	ϑ

$$\alpha + \beta + \gamma + \delta + \varepsilon + \zeta + \eta + \vartheta = a.$$

Wenn dann ψ der Winkel ist, welchen die gesuchte mittlere Richtung mit der positiven X-Achse einschliesst, so besteht die Gleichung:

$$\operatorname{tang} \psi = \frac{\gamma - \eta + (\beta + \delta - \zeta - \vartheta) \sin 45^0}{\alpha - \varepsilon + (\beta + \zeta - \delta - \vartheta) \cos 45^0}.$$

Der Praxis wird genügt, wenn man dann ψ resp. mit demjenigen Betrage der Wertreihe 0°, 45°, 90°, 135°, 270°, 315° identifiziert, von welchem der für ψ ermittelte exakte Wert am wenigsten abweicht. Bei 16 Hauptrichtungen gestaltet sich die Rechnung natürlich etwas verwickelter.

Indem wir für die ältere Litteratur, welche über die Lambertsche Formel erwachsen ist, auf die Zusammenstellung Munckes [298] verweisen, bemerken wir nur noch, dass H. Meyer [299] die Klimatologie ganz von diesem Formalismus befreit wissen möchte, welchem er einen aktuellen Wert nicht zugestehen zu können erklärt. Allein Pernter [300] hält ihm entgegen, dass — allerdings weniger für eine konkrete Untersuchung über Einzelklimate, wohl aber — für die Erfassung der tellurischen Zirkulationen überhaupt, wie solche in Kap. VI uns zu beschäftigen haben werden, die Kenntnis der mittleren Windrichtung nach wie vor einen gewissen Wert behaupte.

Auch die mittlere Windstärke W ist jetzt unmittelbar gegeben. Nennen wir nämlich X und Y die im Nenner und im Zähler des obigen Bruches stehenden Grössen, so haben wir W proportional

$$X : \cos \psi = Y : \sin \psi = \sqrt{X^2 + Y^2}.$$

§. 18. **Meteorologischer Kalkul.** Zum Handwerkszeuge des Meteorologen, welcher aus anscheinend gesetzlosen Zuständen das über denselben stehende Gesetz gewissermassen herausschälen soll, gehört das Rechnen mit gewissen trigonometrischen Reihen, wie es sich aus den von D'Alembert und L. Euler zuerst unternommenen Versuchen, willkürliche Funktionen mit beliebiger Genauigkeit durch geschlossene Ausdrücke darzustellen, allmählich entwickelt hat. Für die ältere Geschichte dieser Bestrebungen haben Sachse [301] und Ad. Schmidt [302] ein treffliches Fundament gelegt, und der letztere hat auch die neuesten Phasen dieser Theorie genau verfolgt, so dass seine Schrift den Gegenstand, wenigstens in theoretischer Beziehung, vollständig erschöpft.

Als der erste drückte Lambert [303] den jährlichen Gang der Lufttemperatur und Sonnenstrahlung durch Reihen der bezeichneten Art aus, aber eine eigentliche Methode zur Bestimmung der in die Reihe eingehenden Koeffizienten stand ihm noch nicht zu Gebote. Eine solche rührt erst von Bessel her, der mit diesen Dingen sowohl bei der Untersuchung der Teilungsfehler eines astronomischen Kreises als auch, wie wir gleich sehen werden, bei einer meteorologischen Frage zu thun bekam [304]. Inzwischen hatte Fourier [305] den jede Willkürlichkeit ausschliessenden Lehrsatz aufgefunden, dass eine endliche, nur in einzelnen Punkten unstetig werdende Funktion ohne unendlich viele Maxima und Minima nur auf eine Weise der Darstellung durch eine gleichmässig konvergierende Reihe fähig ist. Hällström [306] machte von letzterer Gebrauch, um die täglichen Barometerschwankungen auf eine latente Gesetzmässigkeit zu prüfen, und für die Klimatologie wurde der Wert dieser Reihenentwickelung durch Hellmann [307] und Wild [308] voll erkannt. Wir lernen dieselbe zuerst in ihrer ursprünglichen Gestalt kennen, als die Besselsche Formel im engeren Sinne.

k soll die Periode sein, nach deren Umlauf $y = f(x)$, unter x die unabhängige Veränderliche verstanden, stets in derselben Art wiederkehrt; $u_0, u_1, u_2, u_3 \ldots$ und $U_1, U_2, U_3 \ldots$ sind konstante, durch Beobachtung zu ermittelnde Grössen. Dann setzt Bessel (s. o.)

$$y = u_0 + u_1 \sin\left(U_1 + \frac{2\pi x}{k}\right) + u_2 \sin\left(U_2 + \frac{4\pi x}{k}\right) + \cdots$$
$$+ u_m \sin\left(U_m + \frac{2m\pi x}{k}\right) + \cdots$$

Für m ist, da es sich ja doch immer nur um eine Annäherung handelt, eine Zahl zu setzen, welche im Einzelfalle einen hinreichenden Grad von Schärfe verbürgt. Man habe für y die Werte $\alpha_0, \alpha_1 \ldots \alpha_{n-1}$ und für $2\pi x : k$ die Werte $z_0, z_1 \ldots z_{n-1}$ thatsächlich gefunden; setzt man ein und wendet n-mal die bekannte Relation $\sin(a+b) = \sin a \cos b + \cos a \sin b$ an, so kann man n neue Gleichungen herleiten:

$$\alpha_i = p_0 + p_1 \cos z_i + q_1 \sin z_i + p_2 \cos 2 z_i + q_2 \sin 2 z_i + \ldots$$
$$(i = 0, 1, 2, 3 \ldots n-1).$$

Wenn die Werte z eine arithmetische Reihe bilden, indem die Differenz einem aliquoten Teile von 2π gleich ist, so geht unser n-gliedriges Gleichungssystem in das nachstehende über:

$$\alpha_i = p_0 + p_1 \cos i z + q_1 \sin i z + p_2 \cos 2 i z + q_2 \sin 2 i z + \ldots$$
$$(i = 0, 1, 2 \ldots n-1).$$

Die Wahrscheinlichkeitsrechnung verlangt, dass die Grössen p mit der Gleichung $(i = 0, 1, 2 \ldots n-1)$

$$\Sigma(-\alpha_i + p_0 + p_1 \cos i z + q_1 \sin i z + \ldots)^2 = \text{Minimo}$$

verträglich sei. Man rechnet aus, behandelt die einzelnen Summanden nach den Vorschriften der Differentialrechnung und beachtet die Identitäten

$$\sum_{k=1}^{k=n-1} \sin k a = \sum_{k=0}^{k=n-1} \cos k a = 0 \left[a = \frac{2\pi}{n} \right];$$

dann erhält man zur Berechnung der $(2n-1)$ Grössen $p_0, p_1 \ldots p_{n-1}; q_1, q_2 \ldots p_{n-1}$ die folgenden Gleichungen $(i = 1, 2, 3 \ldots n-1)$:

$$p_0 = \frac{\alpha_0}{n} + \frac{1}{n} \sum_{\lambda=1}^{\lambda=n-1} \alpha_\lambda; \quad p_i = \frac{2\alpha_0}{n} + \frac{1}{n} \sum_{\lambda=1}^{\lambda=n-1} \alpha_\lambda \cos \lambda i z;$$

$$q_i = \frac{2\alpha_0}{n} + \frac{1}{n} \sum_{\lambda=1}^{\lambda=n-1} \alpha_\lambda \sin \lambda i z.$$

Bessel wollte z. B. aus einer 24jährigen Reihe von Königsberger Beobachtungen heraus die Temperatur y als eine Funktion der mittleren Sonnenlänge x darstellen; für jeden fünften Tag standen ihm die Mitteltemperaturen (nach Réaumur, §. 2) zur Verfügung, so dass $z = 360^0 : 73 = 4^0 55' 53''$ ward, und so setzte er [309]

$$y = 5{,}0454^0 + 8{,}5487^0 \sin(x - 29^0 14') + 0{,}1068^0 \sin(2x - 157^0 55')$$
$$+ 0{,}1173^0 \sin(3x - 332^0 6') + 0{,}5542^0 \sin(4x - 104^0 58').$$

Weitere interessante Beispiele über die Anwendung der unveränderten Besselschen Formel gewähren die Untersuchungen von Ragona [310] über das Feuchtigkeitsverhalten der Luft und von Hällström [311] über die Stundentemperaturen der ostindischen Stadt Madras, bei welch letzterer die Differenz zwischen beobachteten und berechneten Werten niemals einen ganzen Grad erreichte.

Zur Anwendung kam bei der vorigen Ableitung die, nach Wolf [312], von Legendre und Laplace halb und halb antizipierte, aber erst von Gauss [313] vollbewusst zu einem der kräftigsten Instrumente der angewandten Mathematik erhobene Methode der kleinsten Quadrate. Ihr einfacher Grundgedanke ist der, dass man nicht die Fehlersumme selbst zu einem Kleinsten machen darf, weil sich ja Fehler mit positivem und negativem Zeichen bei der Summation kompensieren würden; wenn aber jeder Fehlerwert zuvor ins Quadrat erhoben und hierauf, wie oben geschah, die Summe aller Fehlerquadrate so klein wie möglich gemacht wird, so kann man sicher sein, dass die grösstmögliche Annäherung an die Wahrheit erzielt ward.

Die Litteratur über die Methode der kleinsten Quadrate ist eine überaus reichhaltige; wir nennen von deutschen Schriften diejenigen von Gerling [314], G. L. Hagen [315], Helmert [316] und Vogler [317], von auswärtigen die von Cournot [318], Liagre [319], Airy [320], Forti [321] und Bertrand [322]. Das praktisch notwendigste Material ist bei Kohlrausch [323] zu finden, namentlich auch jeweils der Wert, welchen die Wahrscheinlichkeitsrechnung für den mittleren und für den wahrscheinlichen Fehler eines Systemes von Beobachtungswerten uns an die Hand gibt.

Man hat das Besselsche Prinzip auch in mannigfaltiger Weise zu vervollkommnen gesucht. So kann und wird es häufig vorkommen, dass man nur Mittelwerte der Amplituden für gewisse Teile der Amplituden kennt, und dann tritt jene Umformung der Besselschen Formel in Kraft, welche E. Plantamour [324] und Weihrauch [325] angegeben haben. Der letztgenannte Physiker ist aber auch mit einer scharfen Kritik [326] der Methode überhaupt vorgegangen, und Schreiber hat sich ihm darin angeschlossen.

Diese Anregungen werden gewiss sich noch allseitige Anerkennung erringen; ihr sachlicher Wert ist, dem kompetenten Urteile Ad. Schmidts [327] zufolge, ein sehr bedeutender, wenn man auch mit Weihrauchs Bestreitung des Rechtes, auf dieses Problem den Wahrscheinlichkeitskalkul anzuwenden, nicht einverstanden zu sein braucht. Beachtung heischt auch Schreibers [328] mehrfach abweichende Behandlung der einschlägigen Fragen. Es wird dadurch der Bereich, innerhalb dessen die Fouriersche Methode, auf welche mit Recht, als auf den wahren Ausgangspunkt, zurückgegriffen wird, Geltung beanspruchen darf, schärfer, als es vorher geschehen war, umschrieben.

Bei genauerem Zusehen erweisen sich die Koeffizienten p und q (s. o.) nicht als einfache Summen, sondern als bestimmte Integrale. Zu deren approximativer Auswertung dienen mechanische Vorrichtungen, welche bei den Engländern „Harmonic Analyzer“ heissen und an die schon früher (I, S. 318) genannten Integrationsmaschinen gemahnen. Einen sehr geschickt eingerichteten Apparat dieses Charakters besitzt man [329] von Sommerfeld und Wiechert.

Die Gezeitenerscheinungen (Abt. VI, Kap IV) werden uns erneut Gelegenheit bieten, auf diese Anwendungen der trigonometrischen Reihen einzugehen. Aber überhaupt ist die Anzahl der geophysikalischen Aufgaben, denen man nur auf diese Weise beikommen kann, eine fast unbegrenzte. So hat Seidl, um nur eines anzuführen, die früher (I, S. 478) gestreifte Frage nach dem Zusammenhange der Erdbeben mit den atmosphärischen Zuständen der rechnerischen Behandlung unterworfen [330]. Er zeigte an der Hand der Besselschen Formel, dass die Jahresperiode der Erdbebenhäufigkeit bestimmt erscheint durch die Uebereinanderlagerung zweier Wellen, einer einfachen, welche ihren Gipfel im Winter, ihre tiefste Stelle im Sommer hat, und einer etwas schwächer ausgeprägten Doppelschwankung, welcher je im Frühling und im Herbst ein Maximum zukommt; ähnlich, wie dies auch der Norweger Thomassen that.

§. 19. **Hochstationen und Luftballonfahrten.** Wenn bisher, und zwar häufig, von Beobachtungen die Rede war, so verstand es sich beinahe von selber, dass der Ort, an welchem man dieselben anstellte, nicht sehr weit von der Erdoberfläche entfernt war. Höchstens Türme wurden (S. 74) als Beobachtungsplätze für weitergehende Studien gelegentlich namhaft gemacht. Die Meteorologie ist indessen nicht in der Lage, sich an Wahrnehmungen genügen zu lassen, welche ausschliesslich auf dem Grunde des Luftozeanes angestellt wurden; sie verlangt auch Kenntnis der Vorgänge in den höheren atmosphärischen Schichten und sucht nach Mitteln, sich solche Erfahrungen zu verschaffen.

Der geistvolle Physiker Torricelli hat darauf aufmerksam gemacht [331], dass unser hydrostatisches Wissen ein ganz von dem, das wir jetzt haben, ver-

schiedenes sein würde, wenn wir statt oberhalb des Wassers unten auf dem Meeresboden zu leben gezwungen wären. Und so verhält es sich in gewisser Hinsicht auch mit der atmosphärischen Physik; auch hat diese bereits gar manche wertvolle Bereicherung dem Umstande zu danken gehabt, dass wir Beobachtungen in Höhen bis zu 9000 m über dem Meere zu sammeln gelernt haben.

Vereinzelte Nachrichten über Gebirgsmeteorologie haben die Bergreisenden (I, S. 20) von Anbeginn der wissenschaftlichen Touristik mit heimgebracht; ein gewisses System aber kam erst dann in die Sache, als man an hoch gelegenen Orten Instrumente aufstellte und zwischen ersteren und tiefer gelegenen Stationen systematische Korrespondenzbeobachtungen verabredete. Im XIX. Jahrhundert griff man die Sache noch rationeller an und gründete fixe Observatorien auf Hochgipfeln, welche grösserenteils mit stabilem Beobachtunspersonale besetzt wurden, teilweise freilich auch, wenn dies nicht thunlich war, Selbstregistratoren von langer Gebrauchsdauer erhielten, wie dies in einem besonderen Falle (S. 77) bereits zu konstatieren gewesen ist.

Barometrische Simultanbeobachtungen in Zürich und auf dem St. Gotthard-Hospiz richteten erstmalig Scheuchzer und Pater De Seissa um 1705 ein [332]. Weit bessere Resultate lieferten Saussures auf dem Montblanc angestellte und durch gleichzeitige Ablesungen in Chamouny für die Wissenschaft verwertbar gemachte Beobachtungen [333]. Nach und nach erstarkte das Gefühl für die Notwendigkeit einer rationellen Höhenmeteorologie, und zur Zeit ist die Anzahl der Höhenstationen bereits eine ganz respektable. Beste Auskunft über dieselben geben die Schriften des Engländers Rotch [334], der seine ganze Arbeitskraft diesem Teile der Wissenschaft gewidmet hat. In unseren Alpen sind der Säntis, Wendelstein, Obir, Sonnblick durch ständig bewohnte Observatorien ausgezeichnet, während das Montblanchaus Janssens [335], das wieder von Rotch [336] zum Gegenstande einer besonderen Studie gemacht worden ist, einstweilen (S. 77) sich mit automatischen Instrumenten behelfen muss. Als höchst gelegene Wetterwarte der Erde wird von Rotch [337] diejenige auf dem Chachani (nächst der Stadt Arequipa) in 5075 m Höhe bezeichnet. Wenn eine solche Anstalt zugleich mit einem astronomischen Observatorium verbunden ist, wie dies etwa für die berühmte kalifornische Lick-Sternwarte [338] (I, S. 122) zutrifft, so kann von ihr natürlich eine noch ausgiebigere Leistung im Dienste der Erdphysik erwartet werden.

Um über die Nützlichkeit der in namhafter Höhe angestellten Beobachtungen und Messungen nur ein paar Worte zu sagen, führen wir an, dass Hanns Bearbeitung des Sonnblickmateriales für die freilich bekannte Thatsache, dass in ein paar tausend Meter Höhe die Wetterlage oft von derjenigen im Thale grundverschieden ist, neue und ganz merkwürdige Bestätigungen ergeben hat [339]. Ebenfalls auf dem Sonnblick (3100 m Meereshöhe) sind von Elster und Geitel wertvolle Aufschlüsse über Luftelektrizität und elektrische Lichterscheinungen erhalten worden [340]. Andere Belege werden uns die nächstfolgenden Kapitel mehrfach bringen.

Immerhin, so wertvoll eine Höhenwarte ist, zumal dann, wenn der betreffende Gipfel frei und isoliert in die Lüfte ragt, so gehört erstere doch immer noch der Lithosphäre und nur zum Teile auch der Atmosphäre an. Völlig in dieser verkehren wir nur dann, wenn der Ort, an dem sich die Instrumente befinden, so gut wie ganz von jeder Verbindung mit der Erdoberfläche losgelöst ist. Dies ist der Fall bei Luftballons, einerlei ob sie gefesselt („ballon captif“) oder frei sein mögen, und auch die in neuester Zeit beliebt gewordenen Drachenbeobachtungen kommen hier in Frage.

Seit der Zeit, da schon Kramp [341] es unternahm, Ballonbeobachtungen für die Lehre von der barometrishen Höhenmessung (§. 8) fruchtbar zu machen,

hat zwischen Aëronautik und Meteorologie stets eine innige Wechselbeziehung stattgehabt, und alle berühmten Ballonfahrten, wie dieselben Tissandier [342] aufzählt, brachten auch der Physik der Atmosphäre Gewinn. Eine Sammlung solcher Reiseberichte, die wohl auch tieftraurige Ereignisse zu melden haben, wie denn am 15. April 1875 Sivel und Crozé-Spinelli in einer Höhe von 6950 m dem Erstickungstode erlagen [343], haben hervorragende französische und englische Luftschiffer zusammen herausgegeben [344]. Die Praxis der Ballonfahrt hat einer der ersten deutschen Fachmänner des näheren erläutert [345]. Auch an Spezialzeitschriften fehlt es nicht, und sie alle leisten auch unserem Wissenszweige Vorschub. In New York erscheinen „Aeronautics", in Paris „Aérophile" und „Revue de l'aéronautique"; Kremser in Berlin redigiert die inhaltreiche „Zeitschrift für Luftschiffahrt und Physik der Atmosphäre", und Mödebeck hat das früher zwanglos erscheinende Vereinsorgan des Oberrheinischen Vereines für Luftschiffahrt zu einer regelmässig auszugebenden Vierteljahrsschrift umgebildet, welche den Titel „Illustrierte Aëronautische Mitteilungen" führt.

Die grösste Absoluthöhe, welche bisher einem Menschen zu erreichen gelang [346], beträgt 9150 m. Der Berliner Meteorologe Berson hat diese Heldenthat, so darf man wohl sagen, ausgeführt; bei einer Temperatur von — 47° und einem für den menschlichen Organismus nicht entfernt mehr ausreichenden Sauerstoffgehalte jener Luftschichten stand der Tod durch Erfrieren oder Asphyxie in nächster Aussicht, und nur das stete Einatmen von Sauerstoff aus mitgenommenen Behältern erhielt das dem Erlöschen nahe Leben in solcher Entfernung vom Erdboden. Die Abnahme der Temperatur war noch dazu eine weit raschere, als man dies für den Winter — der Aufstieg fand am 4. Dezember 1894 statt — erwartet hatte.

Die wissenschaftliche Bedeutung der Ballonfahrten am Einzelfalle hat Sohncke [347] vortrefflich gekennzeichnet, und auch von Köbke [348] liegt eine sehr übersichtliche Schilderung der Vorteile vor, welche die Meteorologie von dem Verweilen des Menschen in grossen Höhen zu erwarten hat. Als mustergültig für die Verwertung aeronautischer Resultate zu meteorologischen Zwecken ist auch die Beschreibung einer Nachtfahrt durch Sohncke und Finsterwalder [349] zu betrachten. Die Münchener Vereinigung für Luftschiffahrt hat viele Erhebungen zu rein szientifischen Zwecken veranstaltet, an deren Ausnützung neben den Genannten besonders Erk, Emden und P. Vogel teilgenommen haben, und auch dadurch förderte man die Sache, dass man synchrone Beobachtungen einerseits auf dem Ballon und andererseits auf benachbarten alpinen Höhenstationen (s. o.) organisierte. Endlich vereinigen sich neuerdings auch die Verbände verschiedener Orte zur Veranstaltung gleichzeitig stattfindender Luftreisen (Paris-Berlin-St. Petersburg).

Da uns doch der Gegenstand noch mehrfach zu beschäftigen haben wird, so beschränken wir uns an dieser Stelle auf die Hervorhebung einiger merkwürdiger Einzelheiten. Aus einer grossen Anzahl russischer Ballonfahrten konnte Pomortzew [350] teilweise unerwartete Schlüsse über die Veränderung der Windrichtung mit der Höhe bei zyklonaler und antizyklonaler Luftbewegung entnehmen. Bekannt ist (vgl. Kap. VII), dass es im Winter in einiger Höhe über dem Boden oft viel wärmer als unten zu sein pflegt, aber nur durch Winternachtfahrten vermochten so flagrante Fälle von Temperaturumkehr festgestellt zu werden, wie wir sie jetzt kennen; Finsterwalder fand einmal, dass nur 460 m über der Erde das Thermometer (12. Januar 1894) um 14° gestiegen sei [351]. Neue Anhaltspunkte über die Verteilung der Feuchtigkeit in der Luft hat v. Bezold [352] gleichfalls auf diesem Wege gewonnen.

Die Verwendung der Drachen hat auch etwa erst seit dem Ende der achtziger Jahre eine grössere Ausdehnung erfahren. D. Archibald kombiniert den Fesselballon mit einem Drachen, um dem ersteren mehr Stabilität zu sichern, so dass man den Drachenballon auch an Tagen von ungünstigerem

Witterungscharakter hoch gehen lassen kann, an denen der Aufstieg des blossen Seilballons ausgeschlossen wäre.

Von jeder Ballonfahrt müssen, soll sie der Wissenschaft reelle Dienste leisten können, die räumlichen Umstände genau bekannt sein. Denkt man sich die vom Luftschiffe beschriebene Raumkurve auf die Erdoberfläche projiziert, so erhält man eine in die Karte einzuzeichnende Linie, und zu jedem Punkte dieser Horizontalprojektion muss auch die zugehörige Ballonhöhe bekannt sein. Dieselbe erhält man leicht aus der Kurve, welche der niemals fehlende Schreibbarograph während der Fahrt aufgezeichnet hat. Die Ballonkurve ist eben dann, nach den Gesetzen der darstellenden Geometrie, sozusagen durch Grund- und Aufriss im Raume festgelegt.

Der Grundriss ist allerdings nicht immer ganz leicht herzustellen, weil der Aëronaut sich oft nur mit Schwierigkeit über das Terrain orientiert, über welches die — bekanntlich nicht vom Willen des Menschen abhängige — Fahrt hinwegführt. Kontrollbeobachtungen am Theodoliten gewähren deshalb ein erwünschtes Hilfsmittel, den momentanen Ort der Gondel trigonometrisch festlegen zu können; das hiezu notwendige Formelnsystem ist von Schreiber [353] entwickelt worden. — Die allgemeine Bedeutung der Ballonfahrten und Drachenversuche (bis 3400 m Höhe) charakterisiert sehr gut Baschin [354] für Forschungszwecke.

[1] Hellmann, Die Anfänge der meteorologischen Beobachtungen und Instrumente, H. E., II, S. 113 ff. — [2] Khanikow, Analysis and Extracts of „Book of the Balance of Wisdom“, J. A. O. S., VI, S. 1 ff. — [3] Rosenberger, Die Geschichte der Physik in Grundzügen, I, Braunschweig 1882, S. 85. — [4] Libri, Histoire des sciences mathématiques en Italie, IV, Paris 1841, S. 187 ff.; Poggendorff, Geschichte der Physik, Leipzig 1879, S. 255 ff.; A. Heller, Geschichte der Physik von Aristoteles bis auf die neueste Zeit, I, Stuttgart 1882, S. 388 ff.; Rosenberger, II, Braunschweig 1884, S. 18. — [5] Sanctorius, Commentaria in artem medicinalem Galeni, Venedig 1642; Opera, I, S. 358 ff. — [6] Gerland, Bericht über den historischen Teil der internationalen Ausstellung wissenschaftlicher Apparate im Jahre 1876, Braunschweig 1878. — [7] Wohlwill, Zur Geschichte der Erfindung und Verbreitung des Thermometers, A. P. C., CXXIV, S. 249 ff. — [8] Burckhardt, Historische Notizen; Erfindung des Thermometers, A. P. C., CXXXIII, S, 680 ff. — [9] Kästner, Geschichte der Mathematik, II, Göttingen 1897, S. 235 ff.; Scott, Brief Notes on the History of Thermometers, Q. J. M. S. — [10] Nelli, Vita e commercio letterario di Galileo Galilei, Lausanne 1793, S. 69. — [11] Libri, Histoire des sciences mathématiques en Italie, IV, Paris 1841, S. 189. — [12] Favaro, Galileo Galilei e lo studio di Padova, I, Florenz 1883, S. 249 ff. — [13] Ebenda, I, S. 251. — [14] Libri-Carové, Galileo Galilei, sein Leben und seine Werke, Siegen-Wiesbaden 1842, S. 21. — [15] E. Gerland, Zur Geschichte des Thermometers, Z. J., 1892, S. 340 ff.; Geschichte der Physik, Leipzig 1892, S. 135. — [16] G. P. W., IX, 2, S. 859 ff. — [17] v. Wolf, Relatio de novo thermometrorum concordantium genere, A. E. 1714, S.380 ff. — [18] Mohn, Grundzüge der Meteorologie, Berlin 1883, S. 10 ff. — [19] Réaumur, Règles pour construire des thermomètres dont les degrés sont comparables, M. P., 1730, S. 9 ff. — [20] Celsius, Observationer om tvenne beständiga grader på en thermometer, Stockholm 1742. — [21] R. Wolf, Biographien zur Kulturgeschichte der Schweiz, I, Zürich 1858, S. 240 ff. — [22] Bohn, Ergebnisse physikalischer Forschung, Leipzig 1878, S. 257 ff. — [23] Grunmach, Mitteilungen über Vergleichungen von Quecksilberthermometern mit Luftthermometern, M. Br., Nr. 3. — [24] Bessel, Methode, die Thermometer zu berichtigen, A. P. C., VI, S. 287 ff. — [25] Plücker-Geissler, Studien über Thermometrie und verwandte Gegenstände, A. P. C., LXXXVI, S. 238 ff. — [26] Löwenherz, Vorläufige Mitteilung über thermometrische Fundamentalversuche, B. C. G., 1877, S. 469 ff., 647 ff. — [27] Wiebe, Ueber Thermometerglas, insbesondere über das „Jenaer Normal-Thermometerglas“, Z. J., 1886, S. 167 ff. — [28] Pernet, Comparaison des mètres dans l'air à la température ambiante, Travaux et Mémoires du Bureau International des poids et mesures, V, Paris 1886. — [29] Hann, Handbuch der Klimatologie*), I, Stuttgart 1897, S. 7. — [30] Wild, Jahresbericht des Physikalischen Zentralobservatoriums in St. Petersburg für 1881 und 1882, R. M., VIII, Nr. 10. — [31] Wild, Ueber die Bestimmung der Temperatur und Feuchtigkeit der Luft, Z. ö. G. M., XIX, S. 433 ff.; Bestimmung der wahren Lufttemperatur, Z. ö. G. M., XX, S. 161 ff. — [32] Hazen, Ueber die Bestimmung der Temperatur und Feuchtigkeit der Luft, Z. ö. G. M., XX, S. 90 ff. — [33] W. Köppen, Studien über die Bestimmung der Lufttemperatur und des Luftdruckes, I, A. A. D. S., X, Nr. 2. — [34] Die moderne Meteorologie, Braunschweig 1882, S. 71. — [35] Assmann, Das Schleuderpsychrometer, Z. ö. G. M., XIX, S. 154 ff. — [36] F. Kuntze, Drehthermometer, D. R. P. Nr. 4752, 7473. — [37] Assmann, Eine neue Methode zur Ermittelung der wahren Lufttemperatur, B. M., 17. November 1887. — [38] Kreil, Beschreibung meteorologischer Autographen-Instrumente, Wien 1849. — [39] v. Lamont, Instrumente zur Registrierung der Lufttemperatur, W. St. M., S. 225 ff. — [40] Neubert, Ueber registrierende Thermometer und Thermometrographen, J., 1866, S. 110 ff. — [41] G. P. W., VII, 2, S. 986 ff. — [42] Fitzgerald, A Description of a Metallic Thermometer, P. T., 1760, S. 823 ff. — [43] J. Müller, Lehrbuch der kosmischen Physik, Braunschweig 1875, S. 458 ff. — [44] Günther, Lehrbuch der Meteorologie, München 1889, S. 39 ff. — [45] Hirsch, Verhandlungen der Innsbrucker Konferenz der Internationalen Gradmessung, Berlin-

*) Von diesem Werke wird im folgenden stets die zweite Auflage angeführt.

Neuchatel 1895, S. 181. — [46] Heinemann, Ueber thermische Nachwirkungen von Zinkstäben, Lyck 1891. — [47] P. Schreiber, Theorie eines neuen selbstregistrierenden Luftthermometers, Z. ö. G. M., X, S. 210 ff. — [48] Six, The Construction and Use of a Thermometer for shewing the Extremes of Temperature in the Atmosphere, London 1794. — [49] Rutherford, A Description of an improved Thermometer, T. E. S., III, S. 247 ff. — [50] Breitenlohner, Heinr. Kappellers patentiertes neues Maximum- und Minimumthermometer, Oe. l. W., 1882, S. 39 ff. — [51] Müller-Erzbach, Die Bestimmung der Durchschnittstemperatur durch das Gewicht von verdampftem Wasser und die Messung des relativen Dampfdruckes, R. E., XXIV, S. 575 ff.; Die Bestimmung der Durchschnittstemperatur durch das Gewicht von verdampfter Flüssigkeit, M. Z., V, S. 453 ff. — [52] Grossmann, Versuche mit dem Thermointegrator von Müller-Erzbach, M. Z., VII, S. 152 ff. — [53] v. Guericke, Experimenta nova, quae vocantur Magdeburgica, Amsterdam 1672, S. 114; O. K., ed. Dannemann, Nr. 59, S. 56 ff. — [54] Rosenberger, Geschichte der Physik, II, Braunschweig 1884, S. 148 ff. — [55] Günther, Kepler-Galilei, Berlin 1896, S. 174. — [56] Kästner, Geschichte der Mathematik, III, Göttingen 1799, S. 460 ff. — [57] Rosenberger, II, S. 97 ff. — [58] K. Schott, Mechanica hydraulico-pneumatica, Würzburg 1657, S. 308. — [59] Kästner, Anfangsgründe der angewandten Mathematik, Göttingen 1780, S. 161. — [60] Die mod. Meteorol., S. 17 ff. — [61] Ausstellung von Barometern, Z. J., 1886, S. 205 ff. — [62] Grunmach, Absolute barometrische Bestimmungen unter Kontrolle des Vakuums durch elektrische Lichterscheinungen, A. P. C., (2) XXI, S. 689 ff. — [63] G. P. W., I, 2, S. 766 ff. — [64] Ebenda, I, 2, S. 772 ff. — [65] Ebenda, I, 2, S. 774 ff. — [66] Amontons, Remarques et expériences sur la construction d'une nouvelle clepsydre, sur les baromètres, thermomètres et hygromètres, Paris 1695. — [67] Gay-Lussac, Description d'un nouveau baromètre, A. C. P., I, S. 113 ff. — [68] G. P. W., I, 2, S. 787 ff. — [69] Wild, Neues Heberbarometer, R. E., XI, S. 389 ff. — [70] Mohn, S. 117 ff. — [71] Rosenberger, II, S. 256 ff. — [72] Heller, II, S. 230. — [73] Stevenson, Proposed Optical Barometer, N., XIII, S. 150. — [74] Boys, The Ear a Barometer, M. M. M., 1884, S. 333 ff. — [75] T. J. A. Forster, Beobachtungen über den Einfluss des Luftdruckes auf das Gehör, Frankfurt a. M. 1835. — [76] E. Gerland, Leibnizens und Huygens Briefwechsel mit Papin, Berlin 1881, S. 222; Historische Notizen, A. P. C., (2) VIII, S. 357 ff. — [77] Garthe, Ueber das Barometer ohne Quecksilber und Glas, K. g. W., 1849, Nr. 8. — [78] Höltschl, Die Aneroide von Naudet und Goldschmid, Wien 1872. — [79] W. Jordan, Ueber Federbarometer und barometrische Höhenmessung, V. N. V. R., 1876, S. 8 ff.; Handbuch der Vermessungskunde, II, Stuttgart 1888, S. 489 ff. — [80] Koppe, Die Aneroidbarometer von Jakob Goldschmid und das barometrische Höhenmessen, Zürich 1877. — [81] Vidi, Baromètre anéroide, C. R., XXIV, S. 975 ff. — [82] Kohlrausch, Ein Variationsbarometer, A. P. C., CL, S. 423 ff. — [83] Röntgen, Ueber ein Aneroidbarometer mit Spiegelablesung, A. P. C., (2) IV, S. 305 ff. — [84] Schwirkus, Neue Gesichtspunkte für die Konstruktion der Aneroidbarometer und Manometer, Z. J., 1883, S. 89 ff. — [85] Rosenberger, III, S. 615 ff. — [86] Jelinek, Ueber die Konstruktion der Aneroide und über Aneroide mit Höhenskalen, R. E., XIII, S. 43 ff. — [87] W. Jordan, II, S. 496 ff. — [88] Ebenda, II, S. 502 ff. — [89] P. Schreiber, Apparate zur Prüfung von Federbarometern, sowie von Thermometern, Z. J., 1886, S. 121 ff. — [90] Wiebe, Untersuchungen über die Temperaturkorrektion der Aneroide Vidi-Naudetscher Konstruktion, Z. J., 1890, S. 429 ff. — [91] Poggendorff, Ueber registrierende Barometer, A. P. C., VI, S. 505 ff. — [92] Schultze, Bemerkungen über Einrichtung und Gebrauch der Aneroidbarometer, Harburg 1873. — [93] P. Schreiber, Untersuchungen über die Theorie und Praxis des Wagebarometers, R. E., VIII, S. 245 ff.; Ueber ein zweckmässiges Verfahren zur Reduktion der Wagebarometer-Registrierungen, R. E., IX, S. 129 ff.; Theorie eines neuen Wagebarometers mit Rolle und in Quecksilber tauchendem Gegengewichte, R. E., XIV, S. 471 ff. — [94] Sprung, Untersuchung eines Aneroidbarographen der Gebr. Richard in Paris, Z. J., 1886, S. 419 ff. — [95] Hann, Barograph Richard mit Registrierung der Temperatur im Barographenraume, M. Z., XIV, S. 371 ff. — [96] Eylert, Untersuchungen über den Morelandschen Gewichtsbarographen von R. Fuess in Berlin, Z. J., 1886, S. 269 ff. — [97] Grossmann, Die Registrierungen des Morelandschen Gewichtsbarographen von R. Fuess in Berlin, M. Z., X, S. 321 ff. — [98] Sprung, Lehrbuch der Meteorologie, Hamburg 1885, S. 393 ff. — [99] Heller, II, S. 324. — [100] Poggendorff, Biographisch-litterarisches Handwörterbuch zur Geschichte der exakten Wissenschaften, II, Leipzig 1863, Sp. 210. — [101] Luz, Vollständige und auf Erfahrung gegründete Beschreibung von allen bisher bekannten als auch einigen neuen Barometern, Nürnberg 1784, S. 226 ff. — [102] Secchi, Appareil enrégistreur des principaux phénomènes météorologiques, C. R., XLIX, S. 191 ff. — [103] Sprungs Wagebarograph mit Laufgewicht, M. Z., I, S. 34. — [104] Sprung, Lehrbuch der Meteorologie S. 397. — [105] Sprungs Laufgewichtsbarograph, M. Z., VI, S. 277. — [106] Sprung, Neuer Thermobarograph, Z. J., 1886, S. 189 ff. — [107] Sprung, Diskussion der Aufzeichnungen der Sprung-Fuessschen Thermobarographen in Spandau, Z. J., 1886, S. 232 ff. — [108] Börnstein, Das Gewitter vom 13. bis 17. Juli 1884 in Deutschland, M. Z., IV, S. 448. — [109] Pernter, Barometersprung am 19. November 1887 in Wien, M. Z., V, S. 83. — [110] Barographenzeichnung während der Explosion eines Pulverturmes, M. Z., VIII, S. 240. — [111] H. Berger, Geschichte der wissenschaftlichen Erdkunde bei den Griechen, III, Leipzig 1891, S. 53 ff. — [112] Pascal, Récit de la grande expérience de l'équilibre des liqueurs, Paris 1648; N. M. E., Nr. 2, Berlin 1893. — [113] Pascal, Traité de l'équilibre des liqueurs et de la pesanteur de la masse de l'air, Paris 1662. — [114] Sinclair, Ars nova et magna gravitatis et levitatis, Rotterdam 1669, S. 128 ff. — [115] Mariotte, Oeuvres complètes, I, Leiden 1717, S. 174 ff. — [116] v. Lindenau, Tables barométriques pour faciliter le calcul des nivellements et des mesures des hauteurs par le baromètre, Gotha 1809, S. XX. — [117] Scheuchzer, Οὐρεσιφοίτης helveticus, II, London 1708, S. 7. — [118] Rosenberger, II, S. 231. — [119] Newton-Wolfers, Mathematische Prinzipien der Naturlehre, Berlin 1872, S. 287 ff. — [120] Halley, A Discourse of the Rule of the Decrease of the Height of Mercury in the Barometer, according as the Places are elevated above the Surface of the Earth, P. T., 1686, S. 104 ff. — [121] Sprung, Lehrb. d. Meteorologie, S. 66 ff. — [122] Kästner, Anmerkungen über die Markscheidekunst, nebst einer Abhandlung über das Höhenmessen mit dem Barometer, Göttingen 1755. — [123] Benzenberg, Beschreibung eines einfachen Reisebarometers nebst einer Anleitung zur leichten Berechnung der Berghöhen, Düsseldorf 1811. — [124] G. P. W., V, 1, S. 282 ff. — [125] Rühlmann, Die barometrischen Höhenmessungen und ihre Bedeutung für die Physik der Atmosphäre, Leipzig 1870, S. 24 ff. — [126] Deluc, Recherches sur les modifications de l'atmosphère, II, Genf 1772, S. 109 ff. — [127] R. Wolf, Biographien etc., IV, Zürich 1862, S. 199 ff. — [128] Laplace, Traité de mécanique céleste, IV, Paris 1808, S. 288 ff. — [129] Ramond, Mémoires sur la formule barométrique ds la mécanique céleste, Clermont-Ferrand 1811. — [130] Bessel, Ueber Höhenbestimmungen durch das Barometer, A. P. C., XXXVI, S. 187 ff.; Bemerkungen über barometrisches Höhenmessen, A. N., XV, S. 329 ff. — [131] Baeyer, Ueber eine neue Formel zum Höhenmessen mit dem Barometer, A. P. C., XCVIII, S. 371 ff. — [132] G. S. Ohm, Grundzüge der Physik, II, Nürnberg 1851, S. 182 ff. — [133] Guldberg, Ueber die Formeln für barometrische Höhenmessung, Z. M. P., VII, S. 359 ff. — [134] v. Bauernfeind, Beobachtungen und Unter-

suchungen über die Genauigkeit barometrischer Höhenmessungen und die räumlichen Temperaturveränderungen der Atmosphäre, München 1862. — [135] P. Schreiber, Handbuch der barometrischen Höhenmessungen, Weimar 1877. — [136] v. Bauernfeind, Elemente der Vermessungskunde, II, Stuttgart 1879 (5. Aufl.), S. 391 ff. — [137] Jordan, Handbuch der Vermessungskunde, II, Stuttgart 1888 (3. Aufl.), S. 469 ff. — [138] Ebenda, II, S. 482 ff. — [139] Helmert, Die mathematischen und physikalischen Theorien der höheren Geodäsie, II, Leipzig 1884, S. 215 ff. — [140] v. Bauernfeind, II, S. 395. — [141] Jordan, II, S. 523. — [142] Rühlmann, S. 43 ff. — [143] Gilbert, A new Method of Measuring Heights by Means of the Barometer, Washington 1882. — [144] Köppen, Besprechung hiezu, M. Z., II, S. 279 ff. — [145] Pernter, Ueber die barometrische Höhenmessformel, R. E., XXIV, S. 161 ff. — [146] W. Köppen, Einfache barometrische Höhenformeln, M. Z., V, S. 369 ff. — [147] W. Jordan, Barometrische Höhentafeln, Stuttgart 1886. — [148] Schoder, Hilfstafeln zur barometrischen Höhenbestimmung, Stuttgart 1874. — [149] Hammer, Zwei Hilfsmittel zur Berechnung barometrisch gemessener Höhenunterschiede mit Benützung von Höhenstufen, Z. J., 1896, S. 329 ff. — [150] Reiss, Sinken die Anden? V. G. E. B., VII, S. 48 ff. — [151] v. Bauernfeind, II, S. 69 ff. — [152] Rühlmann, S. 47. — [153] Ebenda, S. 63 ff. — [154] Wild, Ueber die Einwirkung der Winde auf das Barometer und auf die daraus gefolgerten Höhenmessungen, G. E., IV, S. 385 ff. — [155] Pick, Ueber die Sicherheit barometrischer Höhenmessungen, S. A. W., M. P., XVI, S. 415 ff. — [156] Kämtz, Vorlesungen über Meteorologie, Halle a. d. S. 1840, S. 28. — [157] v. Bauernfeind, Neue Beobachtungen über die tägliche Periode barometrisch bestimmter Höhen, München 1883, S. 17. — [158] Jordan, II, S. 494 ff. — [159] Hartl, Praktische Anleitung zum Höhenmessen mit Quecksilberbarometern und mit Aneroiden, Wien 1884. — [160] Reitz, Ueber die Ausführung von Höhenmessungen mit dem Aneroidbarometersysteme Reitz, Hamburg 1874. — [161] Vogler, Beitrag zu den Erfahrungen über Naudetsche Aneroide, R. E., XIV, S. 544 ff. — [162] Reinhertz, Ueber die elastische Nachwirkung beim Federbarometer, Z. J., 1887, S. 153 ff., 189 ff. — [163] Max Schmidt, Ueber den praktischen Wert Naudetscher Aneroide, München 1876. — [164] Frischauf, Tafeln zur Berechnung barometrischer Höhenmessungen, Wien 1877. — [165] Vogler, Anleitung zum Entwerfen graphischer Tafeln, Berlin 1877, S. 85 ff.; Vogler-Feld, Graphische Barometertafeln zum Bestimmen von Höhenunterschieden, Braunschweig 1880. — [166] Gintl, Das Höhenmessen mit dem Thermometer, Wien 1835. — [167] Ebenda, S. 5. — [168] Ure, New Experimental Researches on some of the Leading Doctrines of Caloric, P. T., 1818, S. 338 ff.; G. P. W., V, 1, S. 333. — [169] H. A. Schumacher, Ueber Francisco de Cáldas, den neugranadinischen Naturforscher und Geographen, V. G. E. B., IX, S. 509 ff. — [170] Körner, Ueber thermometrische Höhenmessung, A. C. M., IV, S. 263 ff. — [171] Regnault, Sur la température de l'ébullition de l'eau à différentes hauteurs, A. C. P., (3) XIV, S. 207 ff. — [172] Kunze, Meteorologische und hypsometrische Tafeln, Dresden 1875. — [173] Zöppritz, Tabellen für Luftdruck und Siedetemperatur des Wassers, Königsberg i. Pr. 1883. — [174] Kunze, Einige Beobachtungen von Kochthermometern, V. G. E. B., IX, S. 509 ff. — [175] D'Abbadie-Radau, Géodésie d'Ethiopie ou triangulation d'une partie de la haute Éthiopie, exécutée selon des méthodes nouvelles, Paris 1873, S. 54 ff. — [176] Jordan, II, S. 542. — [177] Cusanus, De staticis experimentis dialogus (posthum), Strassburg i. E. 1550; Kästner, Gesch. d. Math., II, S. 125; Gerland, Gesch. der Physik, S. 64. — [178] E. Gerland, Bericht etc., S. 75 ff. — [179] G. P. W., V, 1, S. 594 ff. — [180] Deluc, Sur l'hygromètre de baleine, J. P., V, S. 381 ff., 457 ff. — [181] T. Lowitz, Beschreibung eines 1772 erfundenen Hygrometers, G. M., III, 4. Heft. — [182] G. P. W., V, 1, S. 609 ff. — [183] Ebenda, V, 1, S. 606 ff.; C. v. Wolf, Experimenta physica oder allerhand nützliche Versuche, II, Halle a. d. S. 1722, S. 7. — [184] Klinkerfues, Theorie des Bifilarhygrometers mit gleichteiliger Prozentskale, Göttingen 1875. — [185] R. Wolf, Biographien etc., IV, S. 263. — [186] H. B. Saussure, Essai sur l'hygrométrie, Neuchâtel 1783; Défense de l'hygromètre à cheveux, Genf 1788. — [187] Lambert, Essai d'hygrométrie ou sur la mesure de l'umidité, Sagan 1769; deutsch von Thenn, Augsburg 1775. — [188] Daniell, On a new Hygrometer, Q. J. S., VIII, S. 298 ff.; IX, S. 128 ff. — [189] Regnault, Etudes sur l'hygrométrie, A. C. P., (3) XV, S. 129 ff.; XXXVII, S. 214 ff. — [190] August, Ueber die Anwendung des Psychrometers zur Hygrometrie, Berlin 1828; Ueber die Fortschritte der Hygrometrie in der neuesten Zeit, Berlin 1830; Psychrometertafeln, nach den neuesten Untersuchungen berechnet, Berlin 1862. — [191] O. Edelmann, Psychrometrische Studien und Beiträge, M. Z., XIII, S. 325 ff. — [192] Ferrel, On Psychrometric Tables for Use in the Signal Service, Washington 1886. [193] Grossmann, Beitrag zur Geschichte und Theorie des Psychrometers, M. Z., VI, S. 121 ff., 164 ff. — [194] Sworykin, Die Bestimmung der Feuchtigkeit der Luft mit dem Psychrometer, R. M., VII, Nr. 3. — [195] Grossmann, S. 175. [196] Nippoldt, Einige Bemerkungen zur Grossmannschen Psychrometerformel; Grossmann, Nachtrag, M. Z., IX, S. 421 ff. — [197] H. Dufour, Note sur une nouvelle forme d'hygromètre à condensation, Lausanne 1888. — [198] Nippoldt, Ein neues Kondensationshygrometer, M. Z., XI, S. 157 ff. — [199] Hill, The Psychrometer and the Condensing Hygrometer, J. A. S. B., LVII, 2, S. 369 ff. — [200] Guyton de Morveau, Description d'un hygromètre pour les gas, G. A. P., XXXI, S. 417 ff. — [201] Brunner, Bestimmung des Wassergehaltes der Atmosphäre, A. P. C., XX, S. 274 — [202] Rosenberger, III, S. 287 ff. — [203] G. P. W., I, S. 432 ff. — [204] Gelcich, Ueber Verdunstungsmesser, Z. J., 1890, S. 47 ff. — [205] Bellani, Descrizione di un nuovo atmidometro, G. F., (2) III, S. 166 ff. — [206] Schwaiger, Descriptio atmidometri nostri et methodi, quam in eo observando adhibemus, E. S. M. P., 1783, S. 300 ff. — [207] Jelinek, Anleitung zur Anstellung meteorologischer Beobachtungen, Wien 1876, S. 101. — [208] Saussure, Essai etc., S. 249. — [209] Stefan, Versuche über Verdampfung, S. A. W., M. P., LXVIII, S. 385 ff. — [210] Sprung, Lehrbuch etc., S. 312 ff. — [211] Leslie, A short Account of Experiments and Instruments, depending on the Relations of Air to Heat and Moisture, Edinburgh 1813. — [212] Piche, Evaporimeter, Z. ö. G. M., VIII, S. 270 ff. — [213] Z. ö. G. M., VIII, S. 375 ff.; XIV, S. 368. — [214] Cantoni, S. 139. — [215] Prestel, Ueber den Verdunstungsmesser, L. J. Z., 1864, Nr. 1096. — [216] v. Lamont, Verschiedene Einrichtungen des Verdunstungsmessers, R. E., VI, S. 113 ff. — [217] Cantoni, S. 140. — [218] Prettner, Ueber einen einfachen Verdunstungsmesser, Z. ö. G. M., VII, S. 319 ff. — [219] H. Wild, Ueber einen einfachen Verdunstungsmesser für Sommer und Winter, R. E., S. 273 ff. — [220] Osnaghi, Modifikation des Messverfahrens und automatische Einrichtung eines Verdunstungsapparates, Z. ö. G. M., IX, S. 54 ff. — [221] Gelcich, S. 59. — [222] Cantoni, S. 137. — [223] Sprung, S. 314. — [224] C. Lang, Beobachtung der Schneebedeckung, M. Z., IV, S. 15 ff. — [225] Berg, Ueber die Beobachtung der Schneedecke im europäischen Russland in der ersten Hälfte des Jahres 1890, R. M., IV, Nr. 5. — [226] P. A. Müller, Ueber die Frage der Verdunstung der Schneedecke, R. M., XIV., Nr. 4. — [227] Dines, Einfluss der Höhe des Regenmessers auf Regenmessungen, Z. ö. G. M., XII, S. 382 ff. — [228] Hellmann, Vergleichung englischer und deutscher Regenmesser, M. Z., XI, S. 476 ff. — [229] van Bebber, Hyg. Met., S. 163. — [230] Hellmann, Bericht über vergleichende Beobachtungen an Regenmessern verschiedener Konstruktion zu Gross-Lichterfelde bei Berlin, A. p. M. J., I, Nr. 3. — [231] C. G. Hermann, Mechanisch verbesserter Wind-, Regen- und Trockenheitsbeobachter, Freiberg 1789. — [232] Mohr,

Selbstregistrierender Regenmesser, A. C. P., LV, S. 310 ff. — [233] Selbstregistrierende meteorologische Instrumente, Kopenhagen 1885. — [234] Binnie, Account of an Electric Self-Recording Rain-Gauge, Q. J. R. M. S., XVIII, S. 6 ff. — [235] G. P. W., X, 2, S. 1953. — [236] Dechevrens, Oscillation diurne de l'inclinaison des motions de l'air observée à Zikawei en Chine, C. R., CVI, S. 1697 ff. — [237] Klossovsky, Annales de l'observatoire météorologique de l'université impériale à Odessa, Odessa 1895, S. 9 ff. — [238] G. P. W., X, 2, S. 2149 ff. — [239] Macaulay, Die Geschichte Englands seit dem Regierungsantritt Jakobs II., deutsch von Bülau-Stromberg, XI, Leipzig 1861, S. 84. — [240] Breusing, Steuermannskunst, Bremen 1890, S. 137 ff. — [241] D'Avezac, Aperçus historiques sur la rose des vents, Rom 1874. — [242] Kaibel, Antike Windrosen, Hermes XX, S. 579 ff. — [243] D'Avezac, S. 31. — [244] Hellmann, Die Anfänge etc., S. 119; Vitruvius, De architectura, lib. I, cap. 6. — [245] G. P. W., X, 2, S. 2151. — [246] v. Dalberg, Anemomètre proposé aux amateurs de météorologie, Erfurt 1782. — [247] Bouguer, Manoeuvre des vaisseaux, Paris 1757, S. 151. — [248] G. P. W., X, 2, S. 2156 ff. — [249] Kästner, Berechnung der Angaben eines Windmessers, M. f. N. Ph., IV. — [250] Crelle, Theorie des Windstosses, welche in der Anwendung auf Windflügel und die von denselben getriebenen Maschinen begründet wird, Berlin 1802. — [251] Zernikow, Theorie des Windstosses nebst Anwendung auf Windflügel und Schiffssegel, Erfurt 1854. — [252] H. Wild, Ueber Anemometer für meteorologische Stationen, Z. ö. G. M., XVII, S. 209 ff.; Mohn, Grundzüge etc., S. 144. — [253] Beaufoy, On a new Wind Gauge, A. Ph., (2) II, S. 431 ff. — [254] C. v. Wolf, Elementa matheseos universae, II, Halle a. d. S. 1743, S. 405. — [255] Robinson, On the Determination of the Constants of the Cup Anemometer by Experiments with a Whirling Machine, P. S., CLXIX, S. 777 ff. — [256] Vitruvius, De arch., lib. X, cap. 14. — [257] Recknagel, Ueber ein zu Geschwindigkeitsmessungen an Luftströmen geeignetes Instrument, A. P. C., (2) IV, S. 149 ff. — [258] v. Hasenkamp, Untersuchungen über die Anemometerprüfung mit dem Rotationsapparate, A. A. D. S., XIII, Nr. 3. — [259] Thiesen, Zur Theorie des Robinsonschen Schalenanemometers, R. M., V, Nr. 11. — [260] Maurer, Das Anemometer der Station auf dem Säntisgipfel, G., XX, S. 8 ff. — [261] Langley, The Internal Work of the Wind, Ats., I, Nr. 4. — [262] Mohn, S. 145. — [263] W. Köppen, Notiz über die Zurückführung der Anemometerangaben der Stationen der Seewarte auf absolutes Mass und über das Verhältnis der Beaufortschen Skale zur Windgeschwindigkeit, Z. ö. G. M., XIV, S. 302 ff. — [264] Hann, Knippings Reduktion der Windskale nach Beaufort auf absolutes Mass, M. Z., XI, S. 155 ff. — [265] Krümmel, Handbuch der Ozeanographie, II, Stuttgart 1855, S. 369 ff. — [266] Winddruckmessung, M. Z., VI, S. 85. — [267] Sprung, Die tägliche Periode der Richtung und Geschwindigkeit des Windes auf dem Eiffelturme, M. Z., XI, S. 252 ff. — [268] Hergesell, Bemerkung zu J. Walthers Vortrag, V. X, G. T., S. XXI ff. — [269] G. P. W., II, S. 605. — [270] v. Ilosvay, Ozongehalt der Luft, M. Z., VII, S. 120. — [271] van Bebber, S. 46. — [272] Ebenda, S. 161. — [273] R. H. Scott, On the Measurement of Sunshine, Q. J. R. M. S., XI, S. 205 ff. — [274] J. Maurer, Ueber eine neue einfache Form des Sonnenscheinautographen, M. Z., V, S. 110 ff. — [275] Hann, Täglicher Gang der Häufigkeit des Sonnenscheines in Wien, M. Z., VI, S. 196 ff. — [276] Fineman, Das Nephoskop, ein Instrument zur Beobachtung der Wolkenbewegung, Z. J., 1886, S. 206 ff.; Sprung, Ueber die Verwendung des einfachen Wolkenspiegels zur Bestimmung der Winkelgeschwindigkeit der Wolken, Z. J., 1891, S. 14 ff. — [277] Secchi, Memorie dell' osservatorio del Collegio Romano, Rom 1862. — [278] Theorells Typendruckmeteorograph, Z. ö. G. M., X, S. 245. — [279] van Rysselberghe, Ueber einen auf einem neuen Systeme beruhenden Universalmeteorographen, Z. ö. G. M., X, S. 49 ff.; Nachruf an van Rysselberghe, M. Z., X, S. 118 ff. — [280] Janssen, Un météorographe pour l'observatoire du Montblanc, C. R., CXIX, S. 386 ff. — [281] Ueber die Geschichte der photographischen Registrierapparate, M. Z., VII, S. 120. — [282] Erk-v. Bezold, Die Bestimmung wahrer Tagesmittel der Temperatur, mit besonderer Berücksichtigung langjähriger Tagesmittel von München, München 1883. — [283] Hann, Handb. d. Klimat., I, S. 9 ff. — [284] Jelinek, Die täglichen Aenderungen der Temperatur, Wien 1867. — [285] Hellmann, Die täglichen Veränderungen der Temperatur in Norddeutschland, Berlin 1875. — [286] Erk-v. Bezold, S. 48. — [287] Schlömilch, Handbuch der algebraischen Analysis, Jena 1868, S. 53 ff. — [288] v. Buch, Ueber barometrische Windrosen, Berlin 1820. — [289] Lommel, Wind und Wetter, gemeinfassliche Darstellung der Meteorologie, München 1873, S. 133 ff. — [290] Dove, Einige meteorologische Untersuchungen über die Winde, A. P. C., XI, S. 545 ff. — [291] v. Lamont, Regen und Schnee von Osten, W. St. M., 1870, S. 258. — [292] Lommel, S. 138. — [293] Prestel, Die jährliche periodische Aenderung des atmosphärischen Ozons und die ozonoskopische Windrose, Dresden 1865. — [294] Lösche, Die Verteilung der Windstärke nach der Windrose von Dresden, Dresden 1860. — [295] Hann, Thermische Windrose für den Ben Nevis, M. Z., VI, S. 27 ff.; Windrosen für den Sonnblickgipfel, M. Z., VI, S. 260 ff. — [296] P. Schreiber, Die Bedeutung der Windrosen für theoretische und praktische Fragen der Meteorologie und Klimatologie, P. G. M., E. H. Nr. 66. — [297] Lambert, Sur les observations du vent, M. A. B., 1777, S. 26 ff. — [298] G. P. W., X, 2, S. 1969 ff. — [299] H. Meyer, Die Winde zu Keitum auf Sylt, A. H. m. M., 1890, 2. Heft. — [300] Pernter, Die Lambertsche Formel, M. Z., VIII, S. 193 ff. — [301] Sachse, Versuch einer Geschichte der Darstellung willkürlicher Funktionen einer Variablen durch trigonometrische Reihen, Göttingen 1879. — [302] Ad. Schmidt, Ueber die Verwendung trigonometrischer Reihen in der Meteorologie, Gotha 1894. — [303] Lambert, Pyrometrie oder vom Maſse des Feuers und der Wärme, Berlin 1779, S. 315 ff. — [304] Bessel, Ueber die Bestimmung des Gesetzes einer periodischen Erscheinung, A. N., VI, Sp. 333 ff.; Werke, ed. Engelmann, II, Leipzig 1860, S. 24 ff., S. 364 ff. — [305] Fourier, Théorie analytique de la chaleur, I, Paris 1822. — [306] Hällström, Ueber die durch den Barometerstand zu bemerkenden und täglich in regelmässigen Perioden geschehenden Veränderungen der Erdatmosphäre, A. P. C., VIII, S. 131 ff., 299 ff., 443 ff. — [307] Hellmann, Die tägl. Ver., S. 5 ff. — [308] H. Wild, Die Temperaturverhältnisse des russischen Reiches, St. Petersburg 1877; Ueber die Darstellung des täglichen Ganges der Lufttemperatur durch die Besselsche Interpolationsformel, St. Petersburg 1893. — [309] Bessel, Ueber die Best. etc., Sp. 346. — [310] Ragona, Andamento annuale dell' umidità relative e assoluta, Modena 1879. — [311] Hällström, Observationum thermometricarum in Madras, Rio de Janeiro, Plymouth, Salzuflen, Aperoa, Boothia, porta Carica et Matotschkin-Schar per omnes fere anni horas institutarum computus, A. s. s. F., I, S. 273 ff. — [312] R. Wolf, Geschichte der Astronomie, München 1877, S. 560. — [313] Gauss, Theoria combinationis observationum erroribus minimis obnoxiae, C. S. G., V. — [314] Gerling, Die Ausgleichungsrechnungen der praktischen Geometrie oder die Methode der kleinsten Quadrate mit ihren Anwendungen auf praktische Aufgaben, Hamburg 1843. — [315] G. L. Hagen, Grundzüge der Wahrscheinlichkeitsrechnung, Berlin 1884. — [316] Helmert, Die Ausgleichungsrechnungen nach der Methode der kleinsten Quadrate, Leipzig 1872. — [317] Vogler, Grundzüge der Ausgleichungsrechnung, Braunschweig 1883. — [318] Cournot, Exposition de la théorie des chances et des probabilités, Paris 1843. — [319] Liagre, Calcul des probabilités et théorie des erreurs, Brüssel 1853. — [320] Airy, On the Algebraical and Numerical Theory of Errors of Observations and the Combi-

nation of Observations, London 1861. — [321] Forti, La teorica degli errori e il metodo dei minimi quadrati con applicazioni alle scienze di osservazione, Neapel-Mailand-Pisa 1880. — [322] J. Bertrand, Calcul des probabilités, Paris 1888. — [323] Kohlrausch, Leitfaden der praktischen Physik, Leipzig 1884, S. 11 ff. — [324] E. Plantamour, Nouvelles études sur le climat de Genève, A. s. p. n., XXIV, S. 431 ff. — [325] Weihrauch, Ueber die Anwendung der Besselschen Formeln in der Meteorologie, Z. ö. G. M., XVIII, S. 21 ff. — [326] Weihrauch, Neue Untersuchungen über die Besselsche Formel und deren Verwendung in der Meteorologie, Dorpat 1888; Fortsetzung, Dorpat 1890. — [327] Ad. Schmidt, Besprechung hiezu, P. G. M., XXXV, L. B., Nr. 1919. — [328] P. Schreiber, Untersuchungen über das Wesen der sogenannten Besselschen Formel, sowie deren Anwendung auf die tägliche periodische Veränderung der Lufttemperatur, N. A. L. K. A., LVIII, Nr. 3, 4. — [329] Sommerfeld-Wiechert, Ueber eine neue Integriermaschine, S. p. ö. G. K., XXXII. — [330] Seidl, Die Beziehungen zwischen Erdbeben und atmosphärischen Bewegungen, Laibach 1895. — [331] Kästner, Gesch. d. Math., III, S. 463. — [332] R. Wolf, Biographien zur Kulturgeschichte der Schweiz, I, Zürich 1858, S. 192. — [333] Martins-C. Vogt, Von Spitzbergen zur Sahara, I, Jena 1872, S. 302 ff. — [334] Rotch, The Mountain Meteorological Stations of Europe, A. M. J., II, S. 445 ff., 500 ff.,538 ff.; III, S. 15 ff. — [335] Das Projekt eines Observatoriums auf dem Montblanc, M. Z., VIII, S. 480. — [336] Rotch, The Meteorological Stations on Mont Blanc, A. M. J., IX, S. 411 ff. — [337] Rotch, The highest Meteorological Station in the World, A. M. J., X, S. 281 ff. — [338] v. Schweiger-Lerchenfeld, Das Lick-Observatorium in Kalifornien, D. R. G. St., XX, S. 173 ff. — [339] Erster Jahresbericht des Sonnblick-Vereines für das Jahr 1892, Wien 1893, S. 32. — [340] Elster-Geitel, Elektrische Beobachtungen auf dem Sonnblick, S. A. W., M. P., CIX, S. 37 ff. — [341] Kramp, Geschichte der Aërostatik, historisch, physisch und mathematisch ausgeführt, I, S. 39 ff. — [342] Tissandier, Histoire des ballons et des aéronautes célèbres, Paris 1887—90. — [343] Köppen, Ballonfahrten in die Region der Cirruswolken, A. H. m. M., XXIII, S. 179 ff. — [344] Glaisher-Tissandier-Flammarion-Fonvielle, Voyages aériens, Paris 1870. — [345] Moedebeck, Die Luftschiffahrt, Leipzig 1886. — [346] Köppen, S. 182 ff. — [347] Sohncke, Gewitterstudien auf Grund von Ballonfahrten, München 1894. — [348] Köbke, Ueber die Bedeutung wissenschaftlicher Ballonfahrten, N. W., VIII, Nr. 48. — [349] Sohncke-Finsterwalder, Einige Ergebnisse wissenschaftlicher Fahrten des Münchener Vereines für Luftschiffahrt, M. Z., XI, S. 361 ff. — [350] Pomortzew, Wissenschaftliche Resultate von 40 in Russland ausgeführten Luftfahrten (russisch), St. Petersburg 1891. — [351] P. Vogel, Jahresbericht des Münchener Vereines für Luftschiffahrt für das Jahr 1893, München 1893, S. 47. — [352] v. Bezold, Ueber die Verarbeitung der bei Ballonfahrten gewonnenen Feuchtigkeitsangaben, Z. L. P. A., 1894, S. 1 ff. — [353] P. Schreiber, Bestimmung der Bewegung eines Luftballons durch trigonometrische Messungen von zwei Standpunkten, M. Z., III, S. 341 ff. — [354] Baschin, Die Verwendbarkeit des Luftballons zu Forschungszwecken in unseren Schutzgebieten, D. K., 1898, Nr. 3.

Kapitel III.

Meteorologische Optik.

§. 1. **Umfang und Inhalt der Disziplin.** Das von den Gestirnen — in erster Linie von der Sonne — kommende Licht erleidet beim Durchgange durch die Erdatmosphäre die mannigfachsten Veränderungen. Diese zu studieren ist die Pflicht der atmosphärischen Physik, aus welcher sich damit eine besondere Disziplin, die meteorologische Optik, ausscheidet. Dieselbe ist offenbar auch zugleich ein Zweig der physikalischen Geographie, insofern die besondere Art der hier in Frage kommenden Erscheinungen durch regionale und lokale Umstände bedingt erscheint.

Die Bezeichnung, welche wir adoptieren, dürfte zuerst von Grunert gebraucht worden sein, welcher auch diesem Gegenstande die erste und einzige Spezialzeitschrift [1] gewidmet hat. Leider hat dieselbe nur zwei Jahre bestanden und es im ganzen auf vier Hefte gebracht. Ein selbständiges Werk darüber ist nicht vorhanden; L. Sohncke, welcher sich mit dem Plane eines solchen getragen und viele Materialien dafür gesammelt hatte, sollte die Vollendung nicht erleben.

Alle und jede Lichterscheinungen, welche da und dort einmal gesehen und beschrieben worden sind, können natürlich nicht zum Objekte wissenschaftlicher Untersuchung gemacht werden, schon deshalb nicht, weil in früherer Zeit viel zu viel phantastische und unkontrollierbare Angaben über derartige Dinge in die Welt gesetzt worden sind. Wir verweisen in dieser Hinsicht auf Flammarions Zusammenstellung [2], welche allerdings neben eigentlichen Lichtmeteoren auch rein

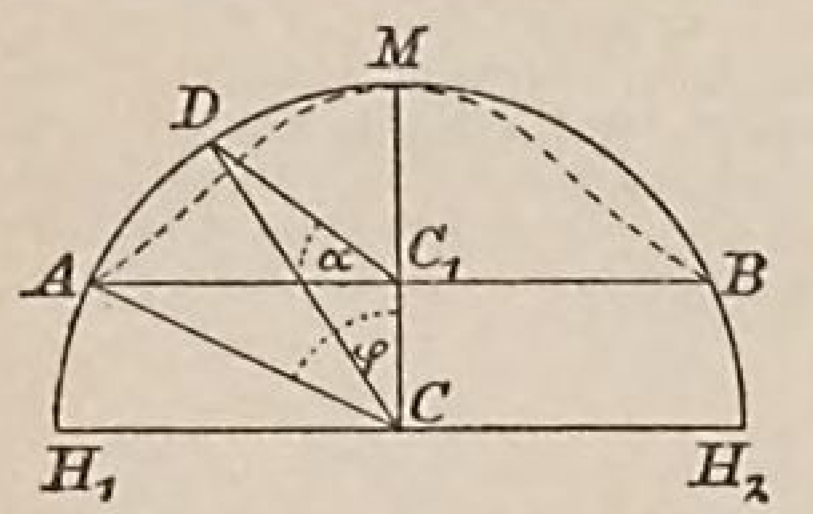
astronomische Phänomene mit in Betracht zieht. Die Gefahr, in dieser Hinsicht zu weit zu gehen und Vorkommnisse im Weltenraume mit solchen durcheinanderzubringen, welche sich ausschliesslich im Bereiche unseres irdischen Luftkreises abspielen, ist immerhin keine ganz ferne liegende.

§. 2. Die Gestalt des Himmelsgewölbes und gewisser Gestirne.

Das Himmelsgewölbe erscheint uns nicht, wie man erwarten möchte, als eine reine Halbkugel, die auf dem Horizontalkreise aufruht, sondern infolge einer Augentäuschung als ein abgeplattetes oder gedrücktes Gewölbe. Nimmt man das Firmament als Kugelsegment, indem man zugleich den Mittelpunkt der betreffenden Kugel als irgendwo auf der Verbindungslinie Zenit-Nadir gelegen, voraussetzt, so lässt sich eine einfache Gestaltsbetimmung der Kugelhaube ermöglichen.

Die erste klare Aeusserung über den Thatbestand finden wir bei Treiber [3]: „Coelum instar fornicis leniter depressi terricolis apparet." Eine mathematische Erörterung führte damals zu keinem Ziele, wohl aber gelang es R. Smith [4], die einschlägige Aufgabe zu lösen. C_1 (Fig. 21) soll der Standpunkt des Beobachters, M sein Scheitelpunkt, A B sein Horizont sein; wenn dann C der wirkliche Kugelmittelpunkt, $H_1 H_2$ der wahre Horizont wäre, so würde die Grösse des Zentriwinkels $\sphericalangle ACM = \varphi$ zu bestimmen sein. Smith suchte durch das Augenmass den Punkt D derart auf, dass arc AD = arc DM sich ergab, und mass dann mit dem Quadranten den Höhenwinkel $\sphericalangle AC_1D = \alpha$. Zur Berechnung der unbekannten Grösse φ lassen sich dann den beiden Dreiecken ACC_1 und DCC_1 die folgenden Gleichungen entnehmen ($AC = DC = MC = r$):

Fig. 21.



$$CC_1 = r \cos \varphi; \quad CC_1 : r = \cos (\alpha + 1/2\, \varphi) : \cos \alpha.$$

Wird CC_1 eliminiert, so bleibt zuletzt eine Gleichung übrig, welcher man die Form erteilen kann:

$$\sin 3/4\, \varphi : \cos 1/4\, \varphi = \tang \alpha.$$

Diese kubische Gleichung hat zwar drei reelle Wurzeln, doch genügt von ihnen nur eine einzige den besonderen Bedingungen des Falles. Smith ermittelte $\alpha = 23^\circ$, und daraus ergab sich $\varphi = 33^\circ 6'$, das Verhältnis $AC_1 : C_1M = \gamma$ ungefähr $= 3^1/_2$. Dieses Verhältnis würde sich auch dann nicht ändern, wenn, wie es einzelnen Beobachtern vorkommen wollte [5], das Himmelsgewölbe eine konchoidale Gestalt besässe, sowie es die gestrichelte Profillinie in Fig. 21 andeutet.

Die neueste Zeit hat uns sehr gründliche Messungen des charakteristischen Winkels α gebracht, angestellt von Reimann [6], der u. a. auch die psychologisch wichtige Wahrnehmung machte, dass die Anvisierung des Halbierungspunktes D sich um so zuverlässiger gestaltete, je weniger der Beobachter mit geometrischem Wissen zu thun hatte, weil er sonst nur allzu leicht $\alpha = 45^\circ$ setzte. Reimann fand für α, je nach den Verhältnissen, verschiedene Werte: an heiteren Tagen $22^1/_2{}^\circ$, in Mondscheinnächten 27°, in mondlosen Nächten 30°; natürlich immer als Mittel zahlreicher Beobachtungen. Zuletzt erschien ihm 21° als der wahrscheinlichste Mittelwert, während Ekama [7] $\alpha = 24^\circ$ ermittelte. Man erkennt, dass es sich nicht um irgend beträchtliche Unterschiede handelt.

Zweifellos hängt mit der Thatsache, dass uns das Firmament den Eindruck eines gedrückten Gewölbes macht, auch die noch allgemeiner bekannte Thatsache zusammen, dass Sonnen- und Mondscheibe uns in der Nähe des Horizontes weit grösser erscheinen, als wenn sie sich der Kulmination nähern. Dass man es nur mit einer subjektiven Empfindung, mit einer Augentäuschung zu thun hat, leuchtet ein, denn wirkliche Messung ergibt keine Grössenunter-

schiede, welches auch immer die Höhe des Gestirnes über dem Horizonte sein möge. Schon gewöhnliche Betrachtung durch ein Hohlrohr ohne Gläser, durch einen zusammengerollten Bogen genügt zur Beseitigung des optischen Irrtumes.

Früher pflegte man letzteren einfach als eine Wirkung der sogenannten Luftperspektive hinzustellen; mit diesem Namen kennzeichnete zuerst [8] Lionardo da Vinci die Abhängigkeit des im Auge erscheinenden Bildes eines Gegenstandes von der Mächtigkeit der vom Lichte durchlaufenen Luftschicht. Gewiss wirkt die Luftperspektive sehr erheblich auf den Aspekt entfernter Gegenstände ein [9], aber im vorliegenden Falle ist eine blosse Berufung auf diesen selbst noch weiterer Aufklärung bedürftigen Umstand so wenig ausreichend wie Weyers [10] — schon bei Alhazen vorkommender — Hinweis darauf, dass das Auge die tief stehenden Himmelskörper mit anderen Dingen leicht in Vergleich bringen kann, während die kulminierenden Gestirne den Vergleichsobjekten weiter entrückt sind. Auch an die Mitwirkung der Strahlenbrechung ist nicht zu denken; sie könnte wohl eine leichte — wiewohl messbare — Verzerrung der Scheibenform, nimmer jedoch eine Vergrösserung des scheinbaren Scheibendurchmessers zur Folge haben.

Ein sinnreiches Messungsverfahren, welches dem Gesagten zufolge natürlich kein direktes sein kann, verdankt man wiederum Reimann [11]. Es fand sich dabei u. a. folgendes: Die untergehende Sonne erscheint im Durchmesser ungefähr $3^1/_3$ mal so gross als die durch ein Blendglas in einer Kulminationshöhe von 55^0 betrachtete Sonne. Dies Verhältnis $3^1/_3$ stimmt mit dem oben für γ erhaltenen Werte, der eben eine Konsequenz der scheinbaren Himmelsgestalt ist, so nahe überein, dass damit die beiden in diesem Paragraphen betrachteten Erscheinungen als von der nämlichen — psychophysischen — Grundursache abhängig sich darstellen.

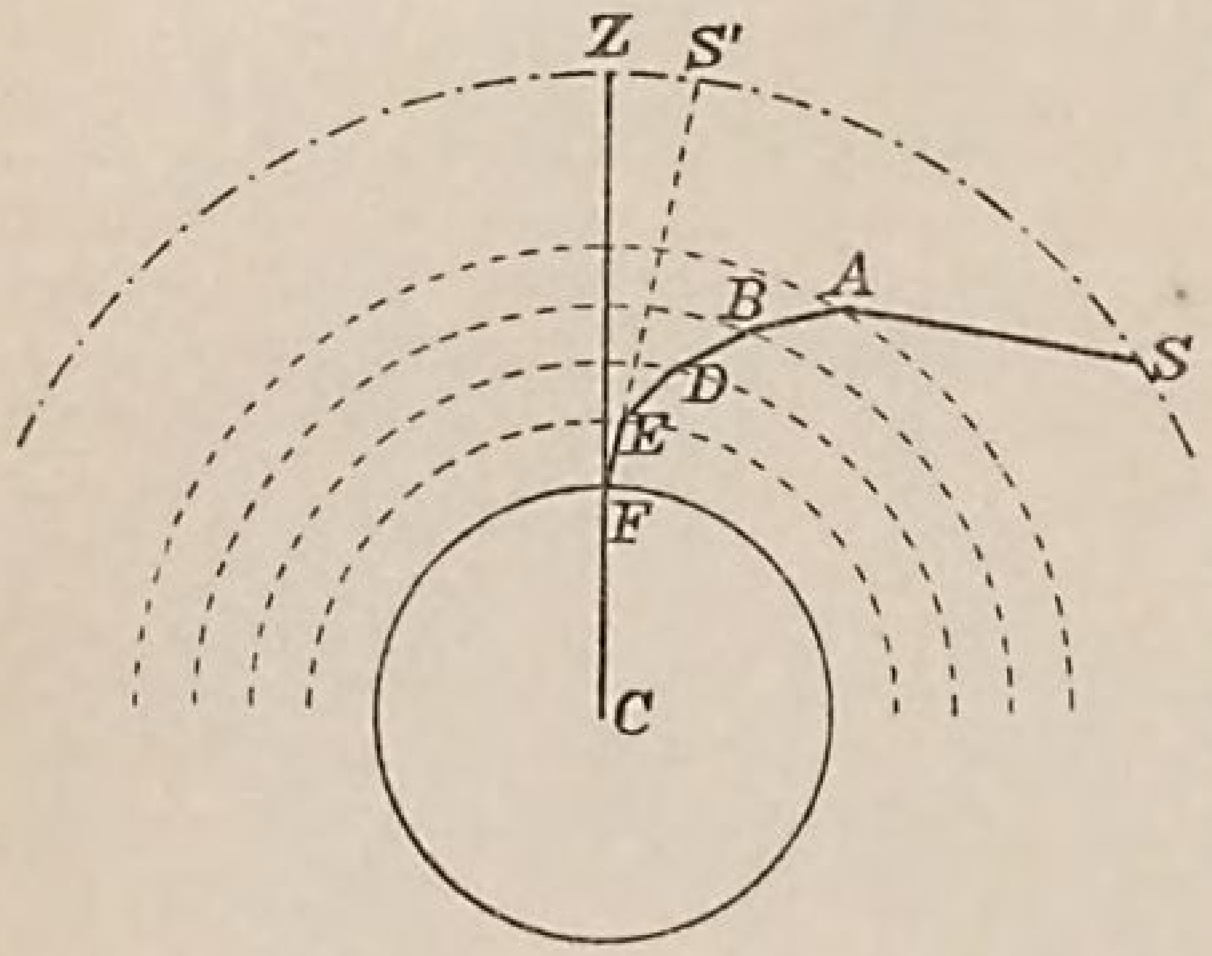
§. 3. **Die atmosphärische Strahlenbrechung.** Niemals erblickt man einen entfernten Gegenstand genau an dem Orte, an welchem er sich wirklich befindet, sondern stets um einen gewissen Winkelbetrag von diesem Orte abgelenkt. Die Ablenkung ist um so grösser, einen je weiteren Weg das Licht innerhalb unserer Lufthülle zurückzulegen hatte; die astronomische Refraktion lenkt im allgemeinen stärker ab, als dies die terrestrische Refraktion thut. Für gewöhnlich braucht nur die vertikale Strahlenbrechung in Betracht gezogen zu werden, d. h. es tritt der Lichtstrahl aus der durch den Licht aussendenden Punkt, den Licht empfangenden Punkt und das Erdzentrum gelegten Ebene nicht heraus. Nur ausnahmsweise bedingt die momentane Zusammensetzung der Luftschichten eine Ausnahme von dieser Regel; alsdann liegt seitliche Strahlenbrechung oder Lateralrefraktion vor.

Die ältere Geschichte der Lehre von der Strahlenbrechung hat in Bruhns [12] ihren Monographen gefunden. Der Grieche Kleomedes gab als der erste [13] eine richtige Erklärung der auffallenden Wahrnehmung (I, S. 118), dass Sonne und verfinsterter Mond gleichzeitig am Himmel sichtbar sein können, indem er zugleich das jetzt sehr bekannte Experiment beschrieb, dass ein in einer Schüssel liegender und durch deren Rand verdeckter Gegenstand nach Eingiessen von Wasser sichtbar werde. Ptolemäus suchte das Gesetz, nach welcher sich diese Richtungsveränderung der Strahlen richtet, zu ergründen [14], und im Mittelalter traten Alhazen und Witelo (Vitellion) in dessen Fusstapfen [15], aber erst B. Walther erkannte [16], dass man der Strahlenbrechung auch bei astronomischen Beobachtungen Rechnung tragen müsse. Doch hielten noch Tycho Brahe und Rothmann an der unrichtigen Meinung fest, dass bei Höhen über 45^0 die Refraktion belanglos sei, und erst Kepler erkannte klar, das ausschliesslich Zenitalstrahlen ganz ungebrochen zur Erde kommen können [17]. Die Notwendigkeit, Luftdruck und Luftwärme bei der Bestimmung der Refraktionsgrösse zu berücksichtigen wurde von Picard hervorgehoben [18]. Die theoretische Untersuchung erhielt natürlich erst von dem Augenblicke an eine richtige Grundlage, da es Snellius

und Cartesius ziemlich gleichzeitig gelang, das wahre Brechungsgesetz festzustellen [19]. Es lautet: Jeder Lichtstrahl wird beim Uebergange in ein dichteres Mittel auf das Einfallslot zu-, beim Uebergange in ein minder dichtes Mittel vom Einfallslote weg- gebrochen, und zwar ist für die nämlichen beiden Medien das Verhältnis des Sinus des Einfallswinkels zum Sinus des Brechungswinkels eine konstante, experimentell zu erforschende Zahl. Dieselbe wird Brechungsindex oder Brechungskoeffizient genannt.

C (Fig. 22) sei der Mittelpunkt der Erdkugel und zugleich der Mittelpunkt aller der sphärischen Flächen, für deren sämtliche Punkte die Dichte der Luft als gleich angenommen werden kann. In Wirklichkeit nimmt diese Dichte stetig von der Erde her gegen aussen ab; indessen dürfen wir einstweilen wohl die zwischen zwei nicht weit voneinander entfernten Ortsflächen enthaltene atmosphärische Schicht als allenthalben gleich dicht voraussetzen. Vier solche Flächen sind in unserer Figur gezeichnet. Der von S kommende Lichtstrahl wird an diesen Flächen, also resp. in den Punkten A, B, D, E gebrochen, so dass also, obigem Gesetze gemäss, der von dem Strahle mit dem Einfallslote — dem Kugelradius — gebildete Winkel immer kleiner und kleiner wird. Das in F befindliche Auge projiziert mithin den Punkt S nach S′, und wenn man noch beachtet, dass der verlängerte Kugelhalbmesser CF durch das Zenit Z von F hindurchgeht, so überzeugt man sich auch sofort von der Wahrheit des Satzes: Die Refraktion vermindert die Zenitdistanzen und vergrössert die Abstände vom Horizonte. Nur bei 90° Höhe kann es keine Ablenkung geben, weil der betreffende Strahl alle Ortsflächen unter rechten Winkeln trifft.

Fig. 22.



Unser schematisches Beispiel nähert sich um so mehr dem thatsächlichen Verlaufe, je zahlreicher wir uns brechende Flächen eingeschaltet denken. Die gebrochene Brechungslinie ist in der Natur eine stetig gekrümmte Linie, die Refraktionskurve, deren genaue Definition u. a. von Grunert [20] gegeben worden ist. Die dieser Kurve entsprechende Differentialgleichung wurde von Laplace [21] aufgestellt und von Kramp [22] für den Spezialfall der Horizontalrefraktion integriert. In späterer Zeit hat v. Bauernfeind [23] eine allgemeinere approximative Integration mittelst schnell konvergierender Reihen erbracht, und es gelang ihm, selbst noch für sehr geringe Höhen Werte zu erhalten, welche bis auf wenige Bogensekunden mit den von Bessel [24] konstruierten Tafeln übereinstimmten.

Unter gewöhnlichen Verhältnissen behilft sich der Astronom, der an jedem einzelnen Messungsresultate den Refraktionsfehler zu korrigieren verpflichtet ist, mit gewissen, durch das Zusammenwirken von Theorie und Empirie erhaltenen Formeln. Solche hat man von Simpson [25], von Bradley-Lalande [26], von Hennert [27]; die letztere ist verhältnismässig recht allgemein. Die terrestrische Refraktion lässt sich leicht dadurch bestimmen [28], dass man die gegenseitigen Zenitdistanzen zweier ihrer Lage nach genau bekannter Orte misst; sind nämlich ζ_1 und ζ_2 diese Zenitdistanzen, während die Lotlinien beider Punkte einen bekannten Winkel λ einschliessen, so müsste, falls eben nicht der Refraktionsfehler vorhanden wäre, $\zeta_1 + \zeta_2 - \lambda = 180^0$ sein. Man wird aber $\zeta_1 + \zeta_2 - \lambda = 180^0 \pm \varepsilon$ finden, und diese Grösse ε gestattet den Rückschluss auf die Grösse der terrestrischen Strahlenbrechung.

Von einer Refraktionskonstante kann, obwohl dieser Ausdruck uns geläufig ist, nur bedingt gesprochen werden. Für die durchschnittlichen Verhältnisse können die durch Korrespondenzbeobachtungen im bayerischen Frankenwalde erhaltenen Werte v. Bauernfeinds [29] als normativ betrachtet werden. Ihnen reihen sich Ambronns [30] Bestimmungen an, welche darthun, welchen starken Schwankungen die Refraktion in Polarländern ausgesetzt ist.

Auch im Laufe eines einzelnen Tages wechselt der Betrag der Ablenkung mit der selbst veränderlichen Erwärmung der Atmosphäre. Die erste dahin zielende Beobachtung hat man von Huygens [31], und etwa 100 Jahre später stellte Brandes [32] an der Meeresküste fest, dass ein Beobachter, der einen ganzen Tag hindurch das Okular seines Fernrohres nicht verlässt, ein entferntes Blickziel je zweimal, in entgegengesetzter Richtung, sich durch sein Gesichtsfeld hindurch bewegen sehe. Die Tageszeiten, welche ein relatives Minimum der Luftunruhe und damit auch einen geringen Betrag der Strahlenbrechung gewährleisten, suchte Sabler [33], anlässlich des von ihm zwischen Schwarzem und Kaspischem Meere ausgeführten barometrischen Nivellements, auszumitteln; es sind ungefähr dieselben Termine (S. 63), welche sich am besten für die barometrische Höhenmessung eignen. Wer mit einem guten Glase ausdauernd ein bestimmtes Objekt anvisiert, bekommt dabei eine Fülle der merkwürdigsten Erscheinungen vor das Auge, welche sich zwar sämtlich unschwer physikalisch erklären lassen, gleichwohl aber den Eindruck des Unerwarteten, nahezu Mysteriösen hervorrufen. Einen sehr lesenswerten Bericht haben wir von Lingg [34], der von Bernried am Starnberger-See unverwandt das eine Stunde von dessen Nordende entfernte Schloss Leutstetten beobachtete. Derselbe Forscher [35] benützte die so sich ergebenden Kimmbeobachtungen (s. u. in §. 17) zur Eruierung gewisser Extremwerte der Refraktion, welche dann häufig eintreten, wenn der Lichtstrahl sich nur sehr wenig von der Oberfläche entfernt.

Die Lehre von der Strahlenbrechung ist nicht nur etwa bloss eine unentbehrliche Hilfsdisziplin der Astronomie und Geodäsie; es wohnt ihr vielmehr auch hohe Wichtigkeit inne für die theoretische Meteorologie. Insbesondere kommt da das Studium der Temperaturverhältnisse in höheren und tieferen Luftschichten in Betracht.

So haben sich, um nur einiges anzuführen, Hartl und Jordan bemüht [36], durch Messung von Zenitdistanzen Aufschlüsse über die Abnahme der Temperatur mit der Höhe zu erhalten. Für die der Erdoberfläche benachbarten Luftregionen gab Th. v. Oppolzer [37] eine den Temperaturstand charakterisierende Differentialgleichung an, deren Konstante teilweise durch Refraktionsbeobachtungen bestimmt werden sollen. Sehr tiefe Untersuchungen über die Beziehungen zwischen der atmosphärischen Physik auf der einen, der Strahlenbrechung auf der anderen Seite sind auch diejenigen von Gyldén [38], Harzer [39], Kerber [40] und Bonnet [41]; die Frage der Lichtverschluckung (I, S. 100) bringt Maurer [42] in Kontakt zu den hier behandelten Problemen.

Einige Worte sind noch über die Lateralrefraktion zu sagen. Dieselbe muss dann eintreten, wenn zwei Luftparzellen, welche gleich weit vom Erdmittelpunkte abstehen, eine wesentlich verschiedene Dichte aufweisen, denn alsdann ist die Refraktionskurve eine doppelt gekrümmte, und das Objekt erscheint nicht nur in der Vertikalebene, sondern auch senkrecht zu ihr verschoben. Man sollte glauben, die Zustände in der Luft müssten gar nicht selten das Zustandekommen solchen Strahlenganges begünstigen, allein die Erfahrung belehrt uns vom Gegenteile.

Auf die Möglichkeit, dass dergleichen eintreten könne, ist man ziemlich früh schon aufmerksam geworden [43], aber eine regelrechte Beobachtungsreihe zur Feststellung der Modalitäten der seitlichen Lichtabweichung datiert erst aus den siebziger Jahren. F. Pfaff [44] verfolgte ausdauernd die vertikalen und horizontalen Ortsveränderungen einer durch Färbung und Lage ausgezeichneten, ungefähr

15 km von seinem Observatorium entfernten Bergkapelle und fand, dass die Bewegungen der zweiten Art selten und geringfügig waren. Zu gleichem Resultate gelangten Sonderhof [45], A. Fischer [46] und v. Bauernfeind [47], welche die Sache unter dem geodätischen Gesichtspunkte näher prüften.

§. 4. Das Funkeln der Sterne. Mit diesem Namen fasst die Volkssprache zwei ganz verschiedene Erscheinungen zusammen, von denen nur die eine uns an dieser Stelle näher angeht. Wir meinen damit einerseits das Strahlenwerfen der Sterne, andererseits aber das nur den Fixsternen eigene, den in Scheibenform erscheinenden Planeten dagegen fehlende Funkeln oder Glitzern im engeren Sinne (Szintillation, Twinkling). Mit ersterem hat sich bloss die physiologische, mit dem Szintillieren aber speziell die meteorologische Optik zu beschäftigen.

Von alters her bildet man die Gestirne so ab, dass von einem Lichtpunkte Strahlen nach allen Seiten hin ausgehen; schon auf den ägyptischen Denkmälern war diese Art der Darstellung üblich. Kleinere, in der Nähe befindliche Sterne werden von diesen Strahlen überglänzt und unsichtbar gemacht, wie denn nur Menschen mit besonders geartetem Auge die Trabanten des Juppiter neben dem hellen Hauptplaneten ohne Bewaffnung zu erkennen vermögen [48]. Diese 5 bis 6 Bogenminuten erreichenden Lichtstreifen sind nach Hassenfratz, wie Humboldt angibt [49], als Brennlinien auf der Krystallinse des Auges zu erklären.

Als Sternfunkeln kennen wir dagegen jene eigenartige Unruhe des Fixsternlichtes, welche bewirkt, dass wir den Stern niemals mit gleicher Lichtstärke uns leuchten sehen; auch bemerken wir oft vorübergehende Farbenerscheinungen an Sternen, welche nachweislich nicht zu den farbigen gehören. Das wissenschaftliche Studium der Szintillation beginnt mit Arago [50], dem nachher besonders Montigny [51], K. Exner [52] und Ch. Dufour [53] gefolgt sind.

Arago führte das Glitzern der Sterne auf die Interferenz des Lichtes zurück. Ein Fixstern kann zumeist als unteilbarer, leuchtender Punkt gelten, der weisses Licht aussendet, ohne dass doch sämtliche Strahlen das aufnehmende Auge ganz in der gleichen Zeit erreichten. Es kann also geschehen, dass zwei Strahlen sich in einem Momente aufheben und im nächsten wieder verstärken, je nachdem der Gangunterschied einem geraden oder ungeraden Vielfachen der halben Wellenlänge gleich ist. Da im weissen Lichte alle möglichen Farbenstrahlen des Spektrums als Komponenten enthalten sind, so ist auch zugleich für den nicht seltenen Farbenwechsel die Erklärung gegeben, indem eben im gleichen Zeitpunkte etwa zwei grüne Strahlen sich vernichten, zwei blaue sich in ihren Wirkungen summieren. Montigny stellte sich im wesentlichen auf denselben Standpunkt, indem er nur auch der totalen Reflexion ein grösseres Gewicht beigelegt wissen wollte; sein uns schon (I, S. 592) bekanntes Szintillometer ist ein Rotationsapparat, welcher das Fernrohrbild eines Sternes in die schnellste Drehung zu versetzen gestattet; an die Stelle des Lichtpunktes tritt dann ein Lichtring, und wenn man die in gegebener Zeit in diesem Ringe auftretenden Farbenwechsel zählt, so hat man ein Mass für die Stärke der Szintillation. Nach Dufour (s. o.) ist diese Stärke dem Produkte $d\rho$ proportional, wo d die Mächtigkeit der durchmessenen Luftschicht, ρ die der Höhe des Sternes entsprechende Refraktion ist; mit Hilfe des Dufourschen Satzes kann man verschiedene Szintillationsbeobachtungen homogen machen, d. h. auf eine konstante Höhe über dem Horizonte reduzieren, und so konnte denn Montigny u. a. feststellen, dass jene Sterne am wenigsten funkeln, deren Spektrallinien am zahlreichsten und zugleich recht deutlich zu unterscheiden sind.

Die Deutung, welche Exner von dem Vorgange des Glitzerns gibt, ist eine von derjenigen Aragos abweichende. Wenn wir alle diejenigen Punkte miteinander verbinden, bis zu welchen der vom leuchtenden Punkte ausgegangene vibratorische Impuls in gleicher Zeit vordringt, so liegen dieselben auf einer sogenannten Wellen-

fläche; im isotropen, unbewegten Mittel ist dies eine Sphäre, in einachsigen Krystallen ein Umdrehungsellipsoid, in zweiachsigen eine Fläche vierter Ordnung. Die niemals ganz ruhige Atmosphäre wird ununterbrochen die mannigfaltigsten Verzerrungen und Gestaltsveränderungen der Wellenflächen darbieten, und damit ist allein schon jener rasche Wechsel der Lichteindrücke erklärt.

Exner hält, im Gegensatze zu früher geäusserten Ansichten, dafür, dass die Szintillation mehr in den unteren, als in den oberen Luftschichten hauptsächlich ihren Sitz habe. Pernters Beobachtungen [54] in 3100 m Meereshöhe haben aber gezeigt, dass allerdings auch in solchen Höhen oft lebhaftes Funkeln konstatiert wird, zumal dann, wenn sich Aenderungen im Zustande der Atmosphäre vorbereiten. Danach würde lebhaftes Glitzern sogar eine gewisse prognostische Bedeutung für die Witterungskunde beanspruchen können.

Ueberhaupt steht die Intensität des Szintillierens in einer gewissen Beziehung zu verschiedenen meteorologischen Faktoren. Montigny [55] glaubte sich überzeugt halten zu dürfen, dass die Sterne lebhafter funkeln, wenn die Atmosphäre von Stürmen bewegt wird. Auch über die Abhängigkeit des Phänomenes von der Windrichtung liegen interessante Untersuchungen von Ventosa [56] und Exner [57] vor.

Eben diese Thatsachen, welche das optische Phänomen als eine Folge der augenblicklichen Beschaffenheit unserer Lufthülle erscheinen lassen, sprechen klar genug gegen die ebenfalls hervorgetretene Auffassung der Szintillation als einer rein subjektiven Erscheinung. War es doch auch von je bekannt, dass in der Tropenzone, welche zugleich (Kap. VII) die der Windstillen ist, die Sterne ihren unruhigen Glanz fast ganz verlieren.

Besonders verfochten wurde die erwähnte Auffassung von Steifensand [58]. Seine Ansicht ging dahin, dass unregelmässiger Blutdruck in der Netzhaut des gespannt dem Objekte zugewandten Auges die wesentlichste Ursache sei, wie ja auch das Flimmern vor den Augen eine Zirkulationsstörung darstelle. Poggendorff [59] wollte diese Hypothese mit Grund schon deshalb nicht zulassen, weil sie von dem unzweifelhaft bezeugten Farbenspiele beim Glitzern gar keine Rechenschaft gebe.

§. 5. **Das Schwanken der Sterne.** Als A. v. Humboldt am 22. Juni 1799 den Pik von Tenerife bestieg, glaubte er [60] eine wunderbare Bewegung mehrerer Sterne wahrzunehmen; sie stiegen in die Höhe, bewegten sich hin und her und fielen wieder auf ihren ursprünglichen Platz zurück. Auch später haben zuverlässige Männer von ähnlichen Erfahrungen berichtet. Der Astronom Schweizer [61] hat sich eingehend mit dem Sternschwanken beschäftigt, und neuerdings hat Dammer [62] das Material übersichtlich geordnet.

Fünfzig Jahre nach Humboldt machte Prinz Adalbert von Preussen die gleiche Beobachtung, und zwar auch am gleichen Orte, und 1853 schrieb E. Vogel an Humboldt, er habe in Murzuk (Nordafrika) die etwa 2° über dem Horizonte stehende Venus hüpfende Bewegungen machen sehen, deren Amplitude einen vollen Monddurchmesser betragen habe. Auch den Regulus und Sirius sah Vogel solche ruckweise Ortsveränderungen ausführen; man müsse an eine Laterne denken, welche an einem Papierdrachen befestigt sei. Genaue messende Beobachtungen besitzen wir von Weyer [63], der bei starker Kälte und heftigem Ostwinde einige tief stehende Fixsterne in heftiger Schwankung erblickte. Neu und wichtig ist, dass der genannte Astronom diese Oszillation nur mit freiem — ohnehin ermüdetem — Auge zu erkennen vermochte, während sie verschwand, wenn er den Stern im Fernrohre betrachtete.

Humboldt hielt es für das wahrscheinlichste, dass sich in der Erscheinung des Sternschwankens eine Wirkung der uns (S. 93) bekannten Lateralrefraktion offenbare. Für unmöglich wird man das auch nicht erachten dürfen, wenngleich

es auffällig erscheinen muss, dass die seitliche Ablenkung, welche sonst immer, wie wir erfuhren, sich in sehr bescheidenen Grenzen hält, ausnahmsweise so bedeutende Dimensionen soll annehmen können. Ein nicht unbeträchtliches subjektives Moment dürfte, zumal nach den Versuchen Weyers, jedenfalls auch anzuerkennen sein.

§. 6. **Die Durchsichtigkeit der Luft.** Der Luft der Erde kommt die Eigenschaft, durchsichtig oder, richtiger gesagt, durchscheinend (diaphan; διά, durch; φαίνειν, scheinen) zu sein, in sehr hohem, jedoch keineswegs in absolutem Maſse zu. Auf die in gewissem Sinne ein Mass der Diaphanität abgebende Luftperspektive ist bereits in §. 2 hingewiesen worden. Es tritt nunmehr die Frage an uns heran, ob der an sich unbestimmte Begriff einer grösseren oder geringeren Diaphanität einer Fixierung, wo möglich durch mathematischen Ausdruck, fähig ist.

Wenn ein und dasselbe Auge einen gewissen Stern unter verschiedenen Verhältnissen erkennt oder nicht erkennt, so ist offenbar der Durchsichtigkeitsgrad der Atmosphäre in beiden Fällen nicht der gleiche. Humboldt suchte [64] in dem Sterne Alcor des Grossen Bären, dessen sich die Araber zur Prüfung der Sehschärfe eines Auges bedient hatten [65], ein Mass für die optische Durchlässigkeit der Luft zu gewinnen. Auf messende Versuche hat anscheinend zuerst Lichtenberg [66] gedrungen, und Saussure [67] entsprach dieser Anregung durch Konstruktion seines Diaphanometers. Bouguer [68] suchte photometrisch die Lichtstärken des Vollmondes nahe am Horizonte und nahe am Meridiane zu vergleichen, und die Verschiedenheit beider Ergebnisse sollte dann der stärkeren Lichtabsorption der tieferen Schichten entsprechen.

Vollkommen erreichte H. Schlagintweit [69] das angestrebte Ziel mittelst einer Verbesserung des von Saussure angegebenen Prinzipes. Auf zwei schwarzen Tafeln sind zwei weisse Kreise angebracht, deren Durchmesser resp. d und D ($D > d$) sein sollen. Gäbe es keine Lichtverschluckung, so würden die Distanzen, nach deren Zurücklegung der Beobachter beide Kreise seinem Auge entschwinden sähe, sich zu einander wie $d : D$ verhalten. Der wechselnde Diaphanitätskoeffizient stellt die Zahl dar, welche angibt, ein wie grosser Bruchteil einer als Einheit aufgefassten Lichtmenge dann noch vorhanden ist, wenn das Licht durch eine Luftschicht von der Mächtigkeit 1 hindurchgegangen war. Die kleinere Kreisscheibe möge im luftleeren Raume einem um die Längeneinheit entfernten Auge die Lichtmenge i zusenden; alsdann ist im lufterfüllten Raume und bei der Entfernung e die thatsächlich übermittelte Lichtmenge l, unter α den Durchlässigkeitskoeffizienten verstanden, gleich $(i \,.\, \alpha^e) : e^2$ zu setzen. Die von der grösseren Kreisscheibe herrührende Lichtmenge L kann dann gleich $(D^2 \,.\, i \,.\, \alpha^E) : d^2 \,.\, E^2$ gesetzt werden, unter E ebenfalls eine beliebige Entfernung verstanden. Durch Probieren mittelt der Beobachter die Distanzen aus, für welche die beiden weissen Scheiben gerade unsichtbar werden; sie sollen e_1 und E_1 heissen, so dass also nunmehr auch $l = L$ geworden ist. Damit sind auch die nachstehenden Relationen gegeben:

$$\frac{i \,.\, \alpha^{e_1}}{{e_1}^2} = \frac{i \,.\, \alpha^{E_1}}{{E_1}^2} \,.\, \frac{D^2}{d^2}; \quad \alpha = \sqrt[E_1 - e_1]{\left(\frac{d \,.\, E_1}{D \,.\, e_1}\right)^2}.$$

Mit Zuziehung einer der Akkomodation des Auges Rechnung tragenden Korrektion fand Schlagintweit in Höhen zwischen 600 und 700 m die Grösse $\alpha = 0{,}9029$, so dass etwa der zehnte Teil der Lichtstärke durch Absorptionsverlust in Wegfall käme. Das ganze Verfahren hat offenbar grosse Aehnlichkeit mit jenem, welches bei Bunsens Fettfleckphotometer [70] zur Anwendung kommt.

Aber auch die nicht minder bekannte Methode von Ritchie [71] ist für den in Rede stehenden Zweck umzubilden versucht worden [72]. Zwei Fernrohre mit gemeinsamem Okulare sind so eingerichtet, dass man die anvisierten Bilder dicht nebeneinander erblickt, während als Vergleichsobjekte zwei weiss überzogene Schirme dienen. Durch Diaphragmen kann der ins Okular Blickende die Helligkeit des stärker leuchtenden Objektes so weit abblenden, dass völlige Gleichheit der Beleuchtung sich herausstellt, und hierauf ist das Verhältnis der Objektiv-

öffnungen die Masszahl für das Verhältnis, welches man ermitteln will. Wild [73] hat diese photometrische Methode noch ausgestaltet durch Kombinierung mit dem polaristrobometrischen Messungsverfahren, welches in seiner Bedeutung namentlich von Lippich [74] gekennzeichnet wurde; nach Wild wäre, in der Ebene, $\alpha = 0{,}434$. Abgesehen von der Oertlichkeit ist eben auch der Umstand zu berücksichtigen, dass der Durchlässigkeitskoeffizient für Strahlen von verschiedener Brechbarkeit keineswegs der gleiche ist.

Auch im übrigen üben gar manche Nebenumstände einen oft gar nicht unbeträchtlichen Einfluss auf den Diaphanitätsgrad der Atmosphäre aus. Es ist bekannt, dass in subtropischen und tropischen Gegenden die Luft weit durchlässiger für Licht ist als in gemässigten, während umgekehrt (S. 37) im Polargebiete die akustische Durchlässigkeit sich als eine sehr gesteigerte erweist. Dazu kommt dann noch ein sehr wichtiges Moment, nämlich das Erfülltsein der Luft mit Stoffen, welche nicht notwendig ihr beigemengt sein müssen.

Olearius erzählt [75], dass man in Persien auch des Nachts etwas derberen Druck lesen könne, und Humboldt erwähnt [76] des merkwürdigen Falles, dass er den weissen Mantel seines Begleiters, auf eine dunkle Basaltwand des Gebirges um Quito projiciert, 9 km weit habe deutlich unterscheiden können. Staub und Fremdkörper setzen die Diaphanität begreiflicherweise stark herab. So fand Glan [77], dass selbst spät am Abend, wenn also die direkte Thätigkeit zahlloser Schornsteine eingestellt ist, der Stadt Berlin durch die über ihr lagernde Dunstatmosphäre etwa zwei Fünftel des Lichtes entgehen, welches ihr bei senkrechter Bestrahlung zukommen würde. Wasserdampf in der Atmosphäre erhöht mitunter die Durchsichtigkeit, wie denn schon die vulgäre Wetterkunde es als ungünstiges Vorzeichen deutet, wenn entfernte Gebirge sich in völliger Reinheit vom Gesichtskreise abheben. Eingehend haben sich mit dieser Frage, die recht dringend einer wissenschaftlichen Behandlung bedurfte, Meidinger [78] und Schultheiss [79] beschäftigt, und es hat letzterer namentlich die Anfzeichnungen der hochgelegenen Schwarzwaldstation Höchenschwand herangezogen, auf der man viele Jahre lang die Tage vermerkt hatte, an welchen die Schweizer Alpen klar sichtbar gewesen waren; auch für den Sichtbarkeitsgrad hatte man sich eine empirische Skala geschaffen. Einigermassen entgegen der landläufigen Anschauung stellte sich heraus, dass bei hohem Luftdrucke die Alpenaussicht besonders günstig war, und in der That wissen wir auch, dass im Winter und Vorfrühling die Bedingungen für schöne Gebirgsaspekte besser als in der warmen Jahreszeit gelagert sind. Nur dann, wenn die Luft vom Föhncharakter (s. u. in Kap. VI) beherrscht ist, bewährt sich die übliche Prognose, während im allgemeinen erhöhte Durchsichtigkeit der Atmosphäre noch nicht auf baldige Niederschläge hinzuweisen braucht. Die kühle Tageszeit ist die günstigste.

In sehr reiner Luft kann die Absorption wohl so gering werden, dass man Sterne am hellen Tage wahrnimmt; insbesondere gilt dies von der Venus, die ja zur Zeit ihres grössten Glanzes (I, S. 107) sogar einen Schatten wirft. Saussure [80] führt Beispiele dieser Art an. Dagegen scheint die Sichtbarkeit der Sterne aus tiefen Brunnen oder Kaminen zu den ganz unerwiesenen Dingen zu gehören.

Gegen Saussures Behauptung haben sich zwar mehrere Forscher erklärt, aber dass dergleichen — und zwar nicht einmal auf Hochgipfeln — wirklich sich ereignen könne, wird wieder durch einen sehr bezeichnenden, von Reimann [81] mitgeteilten Fall dargethan. Die Sternbeobachtung aus Schachten hat Humboldt [82] zum Gegenstande einer ausgedehnten Umfrage gemacht, jedoch nur mit ganz negativem Erfolge. Man könnte immerhin daran denken, dass die Durchlässigkeit durch die Abhaltung störender Seitenstrahlen erhöbt werde; steht es doch auch fest [83], dass die Astronomen sich längst vor Erfindung des eigentlichen Fernrohres nicht selten eines gläserlosen Tubus zu Himmelsbeobachtungen bedient haben.

Bayerische
Staatsbibliothek
München

§. 7. **Die allgemeine Tageshelle.** An die Absorption des sie passierenden Lichtes schliessen wir gleich die Reflexion der Atmosphäre an. Ohne sie würden wir zwar die leuchtenden Himmelskörper ebenfalls erblicken, aber nur sie allein, und ringsumher wäre alles finster; die Sonne würde uns in grellem Glanze auf tief schwarzem Hintergrunde erscheinen, und auch die Sterne würden schon am Tage erkennbar sein. Das diffus reflektierte Himmelslicht bedingt die allgemeine Tageshelle.

Mittel zur photometrischen Schätzung des diffusen Lichtes sind schon von Bouguer (s. o.) und Lambert [84] uns an die Hand gegeben worden. Auf der so bezeichneten Bahn ist Clausius [85] weiter geschritten und hat näherungsweise ermittelt, wie gross für verschiedene Zenitdistanzen der Sonne die Menge des vom ganzen Firmamente uns zugesandten Lichtes ist. Auch die neueste Zeit hat uns noch Untersuchungen über dieses photometrische Problem gebracht. Vor allem sind diejenigen von L. Weber [86] als massgebend für den augenblicklichen Stand unserer Kenntnis zu erachten.

Es versteht sich, dass zunächst der Begriff des Wortes Lichtintensität, welcher sich ja von Hause aus nur auf eine distinkte Lichtquelle bezieht, einer neuen Definition bedarf, wenn es sich um zerstreutes, von den verschiedensten Zentren ausgehendes Licht handelt. Auch das Beobachtungsverfahren erheischte eine Aenderung; die gewöhnlich gebrauchten Typen weisser, jedoch nicht glänzender Flächen, welche die Vergleichsnorm abgaben, dienten diesem Zwecke nicht ausreichend, so dass Weber das transparente Licht einer matt geschliffenen Milchglastafel als Bezugsobjekt wählte. Die Helligkeit dieses Lichtes, wenn es selbst verstreuten Quellen entstammt, ist im wesentlichen der von jenen Lichtquellen für die spezielle Lage der Glasplatte gelieferten Helligkeit proportional. Man hat also die Milchglastafel in möglichst vielen verschiedenen Lagen der diffusen Bestrahlung auszusetzen und dann die photometrische Bestimmung des transparenten Lichtes auszuführen.

Im Anschlusse an diese hier geschilderten Erwägungen hat Weber eine grosse Anzahl von Messungen ausgeführt und die Resultate tabellarisch zusammengestellt. Als ein solches wollen wir das anführen [87], dass um die Zeit des Sommersolstitiums die allgemeine Tageshelle um das 11fache die Helligkeit um die Wintersonnenwende herum übertrifft, und zwar ist es grossenteils eben die Verstärkung der diffusen Beleuchtung, nicht aber bloss die grössere Neigung des Einfallswinkels der Sonnenstrahlen, welche diese Steigerung bewirkt.

Wenn man den Vorgang näher analysiert, der das zerstreute Licht des Himmelsraumes und damit zugleich die allgemeine Tageshelle liefert, so kann man nicht verkennen, dass auch die Wellenlängen der einzelnen Lichtstrahlen sich irgendwie geltend machen müssen. Wir werden deshalb die hier obschwebende Frage nicht trennen können von einer anderen, nämlich von der nach der Färbung des Himmelslichtes, ebenso wie auch die Durchsichtigkeit der Atmosphäre (§. 7) einen beachtenswerten Faktor bildet. Nicht umsonst hebt Güssfeldt [88] es als eine bemerkenswerte Eigentümlichkeit der Meerespartien um die Magellanstrasse hervor, dass sich dortselbst bei den horizontalen Luftschichten eine ganz besondere Klarheit und Transparenz mit seltener Farbenzartheit vergesellschafte; es ist dies kein zufälliges, sondern ein innerlich gerechtfertigtes Zusammentreffen.

§. 8. **Die Himmelsfarben.** Die normale Farbe des wolkenlosen Himmels ist ein der vielfachsten Abwechslung unterworfenes Blau. Doch treten neben demselben, und oft geradezu als Schattierungen dieser Grundfärbung, noch gar manche andere Farbentöne in die Er-

scheinung. Von der Morgen- und Abendröte, sowie von der Dämmerung überhaupt sehen wir einstweilen ab und ziehen bloss diejenigen Himmelsfarben in den Kreis unserer Erörterung, welche man bei nicht besonders niedrigem Sonnenstande wahrzunehmen in der Lage ist.

Eine zusammenfassende Darstellung dieses Teiles der meteorologischen Optik gab erstmalig das lange vergessene Werk von Funck [89], welches erst wieder durch Hellmann [90] dem Staube der Bibliotheken entrissen wurde. Die modernen Anschauungen gibt trefflich das auch an diesem Orte mehrfach benützte Schriftchen von Pernter [91] wieder.

Wie überall in der Physik, so ist es auch in unserem Falle wünschenswert, Messung, oder doch wenigstens exakte Vergleichung an die Stelle der blossen Schilderung mit Worten treten lassen zu können. Diesem Wunsche verdanken die verschiedenen Kyanometer ihre Entstehung (κυάνεος, blau), welche speziell für die Himmelsbeobachtung eingerichtet sind. Von den Vorrichtungen, welche lediglich terrestrischen Zwecken dienen wollen, wird hier abgesehen.

a) **Saussures Kyanometer.** Aus Studien über die tiefschwarze Färbung des Himmelsgewölbes, von hohen Bergen aus gesehen, erwuchs dem ersten Montblanc-Besteiger das Bedürfnis, überhaupt verschiedene Grade der Himmelsbläue gegeneinander abwägen zu können [92], und so verfiel er darauf, eine Kreisplatte in 51 kongruente Sektoren zu teilen, welche alle Uebergänge von reinem Weiss — Sektor 1 — bis zu vollem Schwarz — Sektor 51 — in zweckmässigen Pigmenten vor Augen stellen [93]. Dem Montblanc-Firmamente entsprach am besten Nummer 39. Humboldt konstatierte mit einem solchen Apparate die Zunahme der Himmelsbläue von der Küste gegen das Innere eines Kontinentes, und Prevost [94] suchte einen Zusammenhang zwischen den Saussureschen Farbegraden (k) und der Höhe (h) der betreffenden Stelle des Himmels über dem Horizonte auszumitteln. Er wollte $k = a - b \operatorname{cosec} h$ gefunden haben, wo a und b Erfahrungszahlen darstellen.

b) **Parrots Rotationskyanometer.** Man kann die einzelnen Sektoren Saussures auf eine schwarz oder weiss gefärbte Kreisplatte aufsetzen, welch letztere dann in rasche Umdrehung versetzt wird [95]. „Aus der Anzahl der blauen Scheiben, die man auf die weisse oder die schwarze Scheibe bringen muss, um eine dem Blaue des Himmels gleiche Färbung zu erhalten, kann man auf den Grad derselben schliessen."

c) **Aragos Polarisationskyanometer.** Doppeltbrechende Kalkspatblättchen lassen bei bestimmter Dicke in polarisiertem Lichte einen blauen Farbenton erkennen, und diesen wählte Arago als Vergleichsfarbe. In einem Briefe an Humboldt beschreibt er [96] das Instrument; der Kalkspat ist in eine Röhre eingeschlossen, welche man um ihre Längsachse drehen kann, und der Beobachter hört in dem Augenblick zu drehen auf, wenn gerade der Farbeneindruck der nämliche ist, welchen das blosse Auge beim Betrachten der fraglichen Stelle des Himmelsgewölbes erhalten hat. Von wirklich ausgeführten Messungen dieser Art ist anscheinend nichts in die Oeffentlichkeit gedrungen.

An Versuchen zur Erklärung der Himmelsbläue hat es nicht gefehlt. Zuerst dachte man vielfach, wie wir dies als einen Durchgangspunkt in der Geschichte der meteorologischen Optik schon wiederholt zu kennzeichnen hatten, an subjektive, d. h. bloss durch Bau und Thätigkeit des menschlichen Sehorganes bedingte Farbenbilder; nachher baute sich eine Theorie auf der unhaltbaren Grundlage auf, dass die atmosphärische Feuchtigkeit sich in hohlen Bläschen konsolidiere. Erst nach und nach brachte eine neue Auffassung des Wesens der Lichtzerstreuung auch auf diesem Gebiete einen Umschwung zuwege.

Die Lehre Goethes „vom trüben Mittel" findet sich bereits bei Lionardo da Vinci angedeutet [97]; ein heller Gegenstand, vor einen dunklen gestellt, soll

im Auge die Empfindung blau hervorrufen. Dies ist an sich nicht unrichtig, und die Forschungen Brückes [98] haben die wahre Ursache der von jenen grossen Vertretern der Lehre vom Schönen richtig erkannten Thatsache herausgebracht. Ein Irrtum lag nur insofern vor, dass verkannt wurde, wie wirklich das vom Himmel zu uns gelangende Licht wesentlich blaues ist. Immerhin griff Muncke [99] noch mehr fehl, wenn er die blaue Himmelsfarbe mit den da und dort beobachteten blauen Schattensäumen in vollkommene Parallele stellen wollte, wie ihm dies auch von Brandes [100] entgegengehalten ward. Tiefer ging schon Nichols' Hypothese [101], darin bestehend, dass die für die langwelligen Farben abgestimmten Fasern der Retina sich gegen das schwache diffuse Himmelslicht ganz neutral verhielten und nur von den kurzwelligen Farben energisch angeregt würden.

Es ist hier der Ort, einige Worte über die farbigen Schattensäume einzuflechten. Nach Priestley [102] haben sich mit deren Erklärung O. v. Guericke, Buffon, Mazéas, Bouguer, Beguelin, Rumford u. a. beschäftigt, und Zschokke widmete ihnen [103] eine sehr ausführliche Monographie, welche allerdings noch keinen Abschluss brachte, wohl aber den objektiven Charakter auch dieses Phänomenes so ziemlich ausser Zweifel setzte. Am gründlichsten ging in späterer Zeit wohl Fournet [104] bei seinen Untersuchungen zu Werke; er fand, dass sich am Himmel drei verschiedene Zonen unterscheiden lassen, und je nachdem das Licht aus einer derselben stammt, erscheint ein Schatten von etwas anders gefärbtem Dämmerlichte umsäumt.

Als Reflexionserscheinung wollte Newton [105] das blaue Himmelslicht angesehen wissen. Bis zu einem gewissen Grade haben sich auch Forbes [106], und mit noch grösserer Entschiedenheit Clausius [107], auf den Standpunkt gestellt, dass das von den hohlen, in der Luft schwebenden Wasserbläschen zurückgeworfene Licht durch Interferenz das Himmelsblau liefere.

Forbes ging davon aus, dass Wasser in der Atmosphäre in drei verschiedenen Formen enthalten sei: als echtes Gas, in Bläschenform und in einem gewissen Uebergangszustande. Je nachdem eines dieser drei Stadien gerade erreicht sei, würden Strahlen, deren Wellenlänge zwischen gewissen Grenzen enthalten sei, durchgelassen, andere dagegen zurückgehalten. Gewiss liegt in dieser Interpretation des Vorganges ein richtiger Gedanke; nur mischte sich der Irrtum über die Beschaffenheit des Wasserdampfes ein, von dem wir ja wissen (S. 21), dass er stets aus massiven, kleinen Wasserkugeln besteht. An die vermutete Hohlbläschenform hielt sich auch Clausius, der das Himmelslicht mit jenem verglich, das man bei den sogenannten Newtonschen Farbenringen wahrnimmt.

Bei seinen bis 1665 zurückreichenden Studien über diese Erscheinung [108] fand Newton, dass, wenn man eine Konvexlinse von sehr grossem Krümmungshalbmesser an eine ebene Glasplatte anpresst und zusammengesetztes Licht auf die Umgebung dieser Berührungsstelle fallen lässt, um sie herum farbige Ringe entstehen. Man unterscheidet bei diesen Ringen, deren Theorie durch Wangerin und Sohncke mit den Grundsätzen der Undulationslehre in völligen Einklang gebracht worden ist [109], verschiedene Ordnungen, von denen jede eine ganze Anzahl von Farbentönen in sich aufnimmt. Mit dem Blau erster Ordnung wollte Clausius die normale Himmelsfärbung identifizieren; die Wasserbläschen sollten sehr dünnwandig sein und folglich eben dieses von den Interferenzgesetzen geforderte Blau reflektieren. Je dicker die Bläschenwandung werde, um so undeutlicher werde die Farbe; zunächst sollen sich Mischfarben und zum Schlusse soll sich Undurchsichtigkeit herausbilden.

Zweifellos hat diese Erklärung, welche bis in die neueste Zeit herein in angesehenen Schriften als die richtige vorgetragen wurde, sehr vieles für sich, allein da ihre Prämisse sich als unhaltbar erwies, so konnte auch die auf letztere sich stützende Auffassung sich nicht auf die Dauer behaupten. Durch die Arbeiten von Lord Rayleigh [110] ist eine wesentlich verschiedene Interpretation angebahnt worden, welcher aller Wahrscheinlichkeit nach die Zukunft gehören dürfte.

Die in der Atmosphäre schwebenden, d. h. langsam sinkenden Wasserkügelchen sind unter normalen Verhältnissen ungemein klein. Aus diesem Grunde hören die bekannten für Dispersion und Beugung des Lichtes gültigen Sätze zu bestehen auf, und aus den von Lord Rayleigh angestellten Versuchen erhellt mit Sicherheit: Nur die kurzwelligen Lichtstrahlen werden von einer Atmosphäre ohne stärker kondensierten Wasserdampf ausgiebig reflektiert. Daher kommen Rot und Gelb bei heiterem Himmel gar nicht vor, während Blau, und zwar nicht selten mit einem Zusatze von Violett, als die dominierende Farbe erscheint.

Die von Crova [111] zu Montpellier über die Zusammensetzung des diffusen Himmelslichtes gesammelten Erfahrungen decken sich im wesentlichen mit jenem Resultate. Gewisse der Region Blau des Spektrums angehörige Strahlen kommen am häufigsten vor, und zwar ist sowohl eine tägliche als auch eine jährliche Periodizität wahrzunehmen. Das Maximum des Blau findet sich früh morgens stark, abends minder energisch ausgeprägt; ebenso begegnen wir einem Maximum in den kältesten und einer sekundären Steigerung in den herbstlichen Monaten. Für die Intensität des durchgelassenen Lichtes hat Lord Rayleigh eine Formel entwickelt, welche Trabert [112] eingehender Diskussion unterzog. Wenn J_0 die ursprüngliche Lichtintensität, J aber die Stärke des thatsächlich durchgelassenen Lichtes, x die relative Dicke der durchlaufenen Schicht (für die Zenitdistanz Null soll $x = 1$ sein), k eine Konstante und λ die Wellenlänge bedeutet, so bestände diese Gleichung:

$$\log J = \log J_0 - \frac{k\,x}{\lambda^4}.$$

Je kleiner λ, um so grösser wird rechts der Subtrahend. Wir werden auf die Sache nochmals in Kap. VII zurückzukommen haben, wenn das selektive Verhalten unserer Lufthülle gegen Wärmestrahlen zur Diskussion gestellt wird. Es wird dann auch über Abneys [113] Vergleichung des Himmelslichtes mit dem wirklichen Sonnenlichte und gewissen tellurischen Lichtquellen im gleichen Zusammenhange zu sprechen sein.

Die morgens und abends den Horizont umlagernden Dünste setzen sich aus stärker koagulirtem Wasserdampfe, d. h. aus Tropfen zusammen, deren Durchmesser schon eine ganz ansehnliche Grösse erreicht haben können. Dann verliert also die Rayleighsche Regel ihre Bedeutung, und im Gegentheile sind dann häufig die Farben von kurzer Wellenlänge stark zurückgedrängt gegen Gelb und Rot, während auch die Zwischenfarbe Grün nicht gänzlich mangelt. Wir haben es eben dann mit den Erscheinungen der Morgen- und Abendröte zu thun.

In gewissem Sinne wird also die Anschauung von Forbes (s. o.) bestätigt, der sich dieselbe bildete, als er eines Tages zwischen sich und der Sonne das Sicherheitsventil einer Lokomotive hatte, aus welcher gerade der Dampf ausströmte. Er sah die Sonne orangerot; da aber diese Färbung nur dann sich bemerklich machte, wenn die Sehstrahlen hart an der Austrittsstelle vorübergingen, so nahm er an, dass der Wasserdampf sich gerade hier in dem oben erwähnten Uebergangszustande befinde. Thatsächlich wirken eben Wassertropfen von einer gewissen Grösse in Bezug auf die Lichtquellen gerade entgegengesetzt wie jene winzigen Kügelchen, welche bei Tage und bei heiterem Wetter, wenn also der Himmel blassblau erscheint, in der Atmosphäre suspendiert sind. Man wird aber wohl nicht umhin können, auch von der sehr wesentlichen Ergänzung Akt zu nehmen, welche Lommel [114] zur Forbesschen Theorie der Morgen- und Abendröte gegeben hat. Danach ist die stete Diffraktion des Lichtes an den massenhaft in der Luft schwebenden Festkörpern (S. 18) an der rötlichen Färbung der um tausende von „Schirmchen“ herum sich den Weg suchenden Strahlen mit in erster Linie schuld.

§. 9. **Das Wasserziehen der Sonne.** Am meisten im Bereiche der Abendröte, seltener in den noch blauen Himmelsregionen, sehen wir die sogenannten Dämmerungsstrahlen („rayons crépusculaires“).

Der Volksmund sagt: Die Sonne zieht Wasser. Bei heiterem Wetter sieht man solche Strahlen („Buddahs Rays“ in Ostindien) oft auch dann noch, wenn die Sonne bereits untergegangen ist.

Zumal, wenn Kumuluswolken (S. 31) in der Luft schweben, durch deren Lücken sich die breiten Strahlenfächer hindurchdrängen, macht sich die Erscheinung mit einem gewissen Glanze geltend und beeinflusst stark den malerischen Eindruck eines Landschaftsbildes. Die Erklärung ist sehr einfach; in Wirklichkeit haben wir es, bei der ungeheuren Entfernung der Sonne, mit einem Parallelstrahlenbündel zu thun, und da unser Auge diese Strahlen auf das Himmelsgewölbe projiziert, so muss eine Konvergenz gegen den scheinbaren Ort der Sonne die Folge sein.

Ist dem aber so, dann erfordert die geometrische Perspektive unbedingt auch ein Korrespondenzphänomen, das Wasserziehen nach dem Gegenpunkte der Sonne, der also auf dem gleichen Höhenkreise, aber um 180° entfernt, zu suchen wäre. Dies hat Heis [115], im Einklange mit dem älteren R. Smith (S. 90), richtig erkannt, aber er selber hatte diese Beobachtung selbst nur selten gemacht, und auch sonst wusste er nur sehr wenige Nachrichten über die erwähnte Ergänzung des gewöhnlichen Wasserziehens von Carl und Groth anzuführen. Es scheint aber, dass man bei aufmerksamer Betrachtung des Himmels dieser Erscheinung gar nicht selten ansichtig wird; möglicherweise spielt auch die Oertlichkeit dabei eine gewisse Rolle. So sah Hammer auf dem Schwarzwaldplateau die Dämmerungsstrahlen ziemlich häufig dem Gegenpunkte der Sonne zustreben, und auch Mack [116] konstatierte ein gleiches in dem ebenfalls auf einem Hochplateau (den Fildern bei Stuttgart) gelegenen Orte Hohenheim. Man konnte in letzterem Falle deutlich sehen, dass die einzelnen Strahlen auf der Peripherie eines gleichzeitig aufgetretenen Regenbogens senkrecht standen. Uebrigens glaubt Mack, dass man wohl an jedem Orte, ohne Rücksicht auf dessen Lage, das Wasserziehen nach der Gegensonne oft genug werde wahrnehmen können, wenn man sich nur fleissig danach umsehe.

§. 10. **Die Polarisation des Himmelslichtes.** Das blaue Himmelslicht ist, wie wir in §. 7 und 8 sahen, das Ergebnis diffuser Reflexion, und damit ist von vornherein ausgesagt, dass es teilweise polarisiert (I, S. 128) sein müsse. Die Polarisation muss in jenen Teilen des Firmamentes, welche ungefähr um 90° von der Sonne abstehen, am stärksten und in der Nähe der Sonne, sowie auch ihres Gegenpunktes am schwächsten hervortreten. Die Polarisationsebene irgend eines Punktes A des Himmels ist durch A selbst, durch das Sonnenzentrum und durch den augenblicklichen Standort des Beobachters bedingt. Es gibt jedoch auch neutrale Punkte, für deren nächste Umgebung die Polarisation überhaupt fast verschwindet.

Bedingt ist die Existenz dieser Punkte durch das niemals fehlende Nebenlicht, welches auch verhindert, dass irgendwo die Polarisation sich als eine totale geltend mache. Aus dem wechselnden, durch den Sonnenlauf bedingten Polarisationsstande kann mit einer ziemlich grossen Annäherung auf den momentanen Sonnenort, d. h. auf die Zeit, geschlossen werden; zu diesem Zwecke ist ein hübsches Instrumentchen, die von J. Müller [117] einlässlich beschriebene Polaruhr von Wheatstone, ganz gut brauchbar. Eben Müller bemerkt auch [118], dass nicht allein das Licht des blauen Himmels, sondern überhaupt alles annähernd horizontal einfallende Licht zum Teile polarisiert sei, so dass, nach Hagenbach-Bischoff [119], ein entfernter, selbst durch das Fernrohr nur schwer erkennbarer Gebirgszug deutlich sichtbar werde, wenn man vor das Okular ein Nicolsches Prisma stelle.

Je ein neutraler Punkt ist von Arago [120], Babinet [121] und Brewster [122] aufgefunden worden. Die beiden ersteren sind, wie die Nachprüfungen der beiden Soret [123] feststellen, recht konstant, und deshalb leicht wieder aufzufinden, wogegen der Brewstersche Punkt, dessen Lage insonderheit Busch [124] genauer zu fixieren suchte, minder stabil, in seiner Lage vielleicht

auch von der Meereshöhe des Beobachtungsortes abhängig ist. Art und Betrag der Polarisation wird auch beeinflusst durch zufällige Umstände; schneebedeckten Boden erkannte Mac Connel [125] als ein die Polarisation herabsetzendes Moment, und in der Nähe einer ausgedehnten Seefläche kann man, wie J. L. Soret konstatierte [126], sich überzeugen, dass die Vermengung der Atmosphäre mit Nebeln nicht ohne Einwirkung auf die Position der drei neutralen Punkte bleibt. Intensivere Beimischunng von Fremdkörpern kann sogar zum Auftreten sekundärer Neutralitätsstellen führen. Solche hat Cornu [127] im Jahre 1885 entdeckt, aber gleich im Jahre darauf war Busch [128], dessen gründlichen Forschungen das Polarisationsproblem in neuester Zeit die meiste Förderung zu danken hatte, diese neuen Punkte nicht mehr wiederzufinden im stande. Auch die Dämmerung spielt, wenigstens bei der Lage des Babinetschen Punktes, eine gewisse Rolle. In der Nähe der Sonne ist, dies wurde zuerst von Becquerel [129] hervorgehoben, die Polarisationsebene nicht mehr durch die einfache geometrische Regel bestimmt, deren wir oben erwähnten, sondern es bedarf zu ihrer Feststellung jener Konstruktion, welche Busch [130] angegeben hat. Dadurch wird auch Bosanquets [131] Bedenken aufgeklärt, ob man nicht statt des Vorhandenseins blosser neutraler Punkte dasjenige von neutralen Linien anzuerkennen habe.

Wir ersehen aus diesen rein thatsächlichen Mitteilungen so viel, dass die atmosphärischen Polarisationserscheinungen in hohem Mafse durch die Gesamtbeschaffenheit der Atmosphäre bestimmt werden. In §. 12 und §. 13 werden wir die Umstände, welche als influierend zu erachten sind, noch etwas näher kennen lernen.

§. 11. **Spektroskopisch-atmosphärologische Studien.** Die Spektralanalyse ist uns in diesem Werke schon zweimal als ein unschätzbares Hilfsmittel der physikalischen Forschung entgegengetreten; einmal in der Astrophysik (I, S. 66) und dann noch weiter, als es sich (I, S. 603) um die Ergründung der wahren Natur des Polarlichtes handelte. Nunmehr soll sich die Spektroskopie in den Dienst der Meteorologie stellen. Und zwar soll fürs erste von den atmosphärischen Linien des Spektrums gehandelt werden.

Früher war man unsicher darüber, ob gewisse Absorptionsstreifen des Sonnenspektrums einen solaren oder aber bloss einen terrestrischen Charakter an sich trügen. Schon der Umstand, dass dieselben nur dann recht sichtbar werden, wenn die Sonnenstrahlen ihren Weg durch die dem Horizonte nächst anliegenden Dunstschichten machen müssen, schien der zweiten Erklärung den Vorzug zu sichern, und zur Gewissheit wurde es, als, einer Anregung Zantedeschis folgend, Brewster und Gladstone ihre fundamentale Arbeit über den Gegenstand veröffentlichten [132], welcher der zweitgenannte bald noch eine weitere nachsandte [133]. Janssens Versuche liessen erkennen, dass wesentlich im Wasserdampfe, in etwas anderem Ausmasse auch in der Kohlensäure die eigentliche Ursache der durch die überschüssigen Spektrallinien angedeuteten Absorption zu suchen sei. Auch ist die von Janssen gleich anfangs gemachte und namentlich durch Beobachtungen auf dem Montblanc-Observatorium verifizierte Thatsache, dass in der reinen Luft der Berge die Streifen eine Abschwächung erfahren, unabhängig durch Henessey [134] bestätigt worden.

Beim Sinken der Sonne verschwindet zunächst der violette Teil des Spektrums bis zur Fraunhoferschen Linie G, und es treten Absorptionslinien im langwelligen Teile auf, welche mitunter zu ganzen Bändern sich verbreitern. Am längsten erhalten sich die helleren Teile in Gelb und Rot samt der grüngelben Partie links von δ. Die ultravioletten Sonnenstrahlen gehen bis zu 60 % bereits in den obersten Schichten der Atmosphäre verloren, müssen sich dann aber gerade in der dem Erdboden benachbarten Schicht nochmals eine sehr starke Absorption gefallen lassen [135]. Dass die Wolken, zumal die hochschwebenden Cirri, die Absorptionslinien erheblich verstärken können, dürfte aus den pyrheliometrischen Messungen einiger italienischer Physiker [136] über die bis zu 30 % des Gesamtbetrages ansteigende Absorptionskraft der Cirruswolken hervorgehen.

Die Bedeutung des atmosphärischen Wasserdampfes für diese Frage ist also ausser Zweifel gestellt. Wenn aber die Aufgabe gelöst ist, aus der Thatsache der Absorption den die Verschluckung bewirkenden Körper zu erkennen, so muss auch an eine Umkehrung des Problemes gedacht werden können. D. h. es muss möglich sein, den Wasserdampfgehalt der Luft spektroskopisch zu ermitteln.

An ältere Vorarbeiten von Capron, Bell, Cooke, Secchi u. a. anknüpfend, hat Arendt [137] dieses neue Problem ernsthaft in Angriff genommen. Er suchte nach Mitteln, um den veränderlichen Charakter der irdischen Spektrallinien deutlicher erkennen und die wechselnde Dicke der Streifen präziser messen zu können, für welch letzteren Zweck er in Wellmanns Doppelbildmikrometer [138] die beste Hilfe fand. Auf den von Cornu [139] und G. Müller [140] bewiesenen Lehrsatz, dem zufolge die Zunahme der Intensität der Linien der Vergrösserung der Luftwege direkt proportional zu setzen ist, liess sich ein wirkliches Messungsverfahren basieren, und die von Arendt berechneten Tabellen gestatten eine direkte Ableitung der absoluten Luftfeuchtigkeit (S. 22) aus spektroskopischen Beobachtungen.

Planetarisches Licht, welches von einem selbst mit stärkerer Atmosphäre umgebenen Weltkörper zu uns dringt, sollte, so wird man a priori schliessen, die atmosphärischen Absorptionslinien mit besonderer Deutlichkeit hervortreten lassen, weil ja dann die Luftwege beträchtlich länger geworden sind. Secchi hat denn auch dargethan [141], dass es sich so verhält.

Eine von Piazzi Smyth [142] aufgestellte, anfänglich jedoch [143] ziemlich skeptisch aufgenommene Hypothese, dass nämlich die Spektralanalyse auch für die Witterungsprognose verwertbar gemacht werden könne, entbehrt jedenfalls nicht einer freilich nur sehr bedingten Richtigkeit. Das sogenannte Regenband im Spektrum kennzeichnet der schottische Astronom als Vorboten eines Wetterumschlages. Wenn die Stärke der atmosphärischen Linien im Spektrum, wie wir jetzt wissen, eine Funktion des atmosphärischen Wassergehaltes ist, so können Veränderungen jener Stärke immerhin auch im angegebenen Sinne interpretiert werden.

Bei diesem Anlasse kann auch der Erörterung des Wesens der Aktinität (ἀκτίν oder ἀκτίς, Strahl) nicht aus dem Wege gegangen werden. Dieselbe ist, der Definition Krones zufolge [144], gleichbedeutend mit photographischer Wirksamkeit des Lichtes. Der spektroskopisch zu messende Wassergehalt der Atmosphäre und Bewegungen in derselben sind die massgebenden Faktoren.

Zwischen Mitteleuropa und Oberitalien besteht ein Aktinitätsverhältnis wie 3 : 4. Maritime Länder sind günstig veranlagt, so lange nur die Luft durchfeuchtet und (S. 97) optisch durchsichtiger gemacht wird, ohne dass schon Kondensation einträte. In den tropischen Regionen ist die Aktinität während der Trockenzeit herabgesetzt und steigt nach beendigter Regenperiode. Die prachtvollen Farbenstrahlen tropisch-maritimer Sonnenuntergänge hat Krone [145] als aller aktinischen Wirksamkeit entbehrend befunden.

Den Bunsen-Roscoeschen Satz [146], die chemische Intensität des Sonnenlichtes nehme mit wachsender Sonnenhöhe zu, mit steigendem Luftdrucke ab, fand Vogel [147] nicht allgemein zutreffend. Schon ein zarter Dunstschleier ändere die Lichtstärke — eben weil er absorbierend wirkt — namhaft ab. Für eine städtische Atmosphäre erweist sich die chemische Wirkung des Nachmittags geringer als des Vormittags, aber die Luft am Meeresstrande verhält sich geradezu umgekehrt. Von Vogel [148] rührt auch eine spektroskopische Untersuchung des Lichtes der blauen Grotte von Capri her. Dieselbe steht mit der Aussenwelt nur durch eine schmale, grösstenteils durch das Wasser eingenommene Oeffnung in Verbindung, und so war denn auch die Einwirkung der äusseren Luft gering und die Wirkung des aus dem Wasser kommenden Lichtes fast allein massgebend. Das Rot des Spektrums war ausgelöscht, das Gelb verblasst, wogegen die kurzwelligen Farben um so energischer hervortraten. Die Linien E und b

verschmolzen zu einem dicken Absorptionsstreifen, wogegen die Linie D ganz und gar verschwand.

§. 12. **Die normale Dämmerung.** Ehe die Sonne aufgeht, erhellen bereits ihre in höhere Luftschichten gelangten Strahlen durch Reflex die Erdoberfläche, so dass sich ein schwaches Licht auf dieser verbreitet, und am Abend spielt sich, wenn das Tagesgestirn gesunken ist, die umgekehrte Reihenfolge der Lichterscheinungen ab. Man fasst dieselben unter dem Namen der Dämmerung zusammen. Zweifellos ist man, da ja der — negative — Höhenwinkel der Sonne den gerade erreichten Helligkeitsgrad in erster Linie bedingt, berechtigt, eine rein geometrische, formale Theorie des Dämmerungsvorganges aufzustellen, doch wird sich bald zeigen, dass es dabei sein Verbleiben nicht haben kann.

Mit Benützung der bei antiken und mittelalterlichen Optikern zu findenden Keime hat Lambert [149] eine solche Theorie geliefert, die in allen Hauptpunkten auch Clausius [150] adoptierte. Vorab bei den jüdischen Kommentatoren des Talmud disputierte man, nach Zuckermann [151], vielfach über den Unterschied zwischen „Zwielicht" und „Dämmerung", und arabische Religionslehrer warnten (I, S. 96) vor der Verwechslung des gewöhnlichen Dämmer- und des Tierkreislichtes [152]. Lambert nahm für Anfang resp. Ende der beiden von ihm stipulierten Arten der Dämmerung das Verschwinden und Auftreten der Sterne erster Grösse, resp. der kleinsten noch mit unbewaffnetem Ende erkennbaren Sterne. Eine negative Sonnenhöhe von 6^0 entsprechen Anfang und Ende der bürgerlichen Dämmerung; einer negativen Sonnenhöhe von 18^0 — nach Bravais [153], mit spezieller Rücksicht auf Frankreich, 16^0 — entsprechen Anfang und Ende der astronomischen Dämmerung. Die Dämmerungsdauer Δ ist leicht zu berechnen, wenn man die Polhöhe φ, die Deklination δ der Sonne und die charakteristische Sonnenhöhe H des Beginnes oder Endes kennt; es wird nämlich

$$\Delta = \left(\frac{x}{15}\right)^h; \quad x = \arc\cos\frac{\sin H - \sin\delta\sin\varphi}{\cos\delta\cos\varphi} - \arc\cos(-\operatorname{tang}\delta\operatorname{tang}\varphi).$$

Die zuerst bei Nonius [154] vorkommende Forderung, für eine gegebene Breite Tag und Dauer der kürzesten Dämmerung zu finden, wurde noch von Joh. Bernoulli [155] für schwer erfüllbar erklärt und von D'Arrest [156] nur durch ein stattliches Aufgebot von Differentialrechnung erzwungen, während Stoll [157] rein geometrisch für die der kürzesten Dämmerung zugehörige Deklination d der Sonne die einfache Formel $\sin d = -\sin\varphi \operatorname{tang} H$ ableitete. Aus der Deklination lässt sich die Zeit leicht finden.

Da die Dämmerung auf Lichtreflexion beruht, so kann erstere nicht überall die gleiche sein, weil ja auch die Durchsichtigkeit der Luft (S. 96) eine stark wechselnde ist. Einflussreicher ist aber natürlich die geographische Breite. In der Nähe der Polarkreise herrschen um die Zeit der Sommersonnenwende die hellen Nächte, so benannt, weil Abend- und Morgendämmerung sich geradezu die Hand reichen, wie dies jeder Bewohner von Stockholm oder St. Petersburg — schon bei 50^0 Polhöhe nimmt die nächtliche Dunkelheit merklich ab — aus Erfahrung weiss. Umgekehrt ist zwischen den Wendekreisen die Dämmerung sehr kurz, und schon im subtropischen Gebiete, etwa in Dalmatien oder Griechenland, muss sich der Reisende an diese ihn anfänglich wenig anmutende Thatsache gewöhnen. In Cumana z. B. fand Humboldt [158] die Frist zwischen Sonnenuntergang und Einbruch völliger Dunkelheit nur wenige Minuten lang. Anderwärts ist sie, wie die von Hann [159] gesammelten authentischen Nachrichten ausweisen, wieder etwas länger, im portugiesischen Westafrika z. B. kann sie durchschnittlich auf 20 Minuten veranschlagt werden. Umgekehrt hilft [160] die Dämmerung unter sehr hohen Breiten, wenn namentlich noch starker Reflex ihres unsicheren Lichtes durch eine ausgedehnte Schneefläche eben dieses Licht verstärkt, bis zu einem gewissen Grade über die Schrecknisse der ununterbrochenen Nacht hinweg.

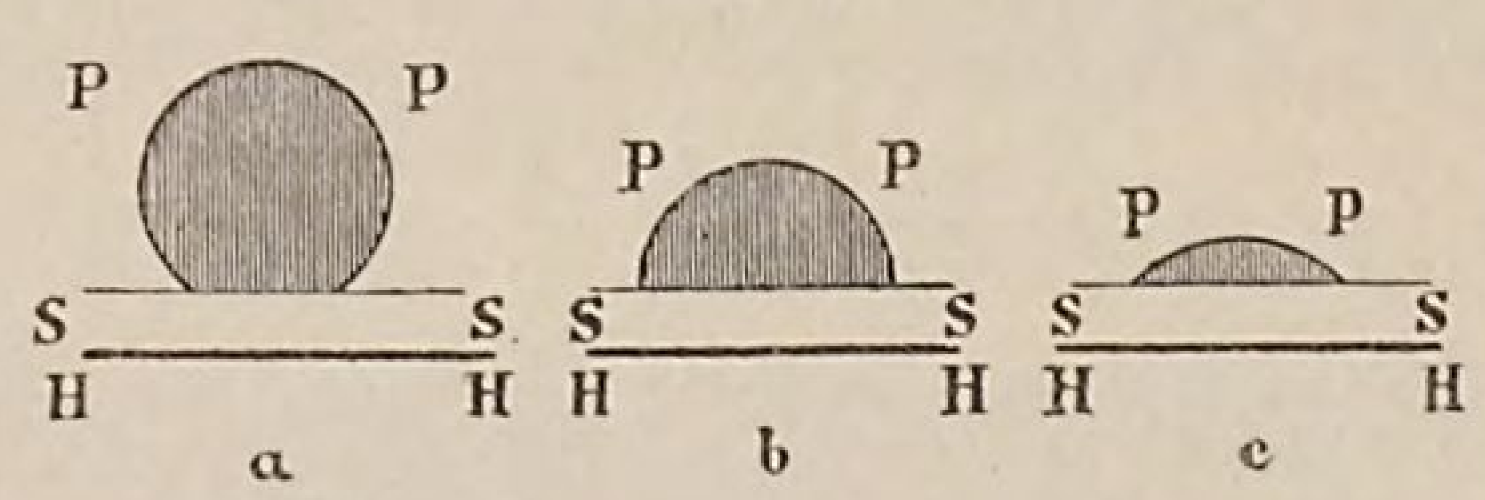
Rein theoretisch unterschied man ehedem, so noch in Lamberts berühmtem Werke, n-verschiedene Dämmerungen, je nachdem die Sonnenstrahlen durch 1, 2 ... nmalige Zurückwerfung sichtbar wurden. Schon von der dritten Dämmerung jedoch nahm man an, dass sie ihrer Lichtschwäche halber sich nicht mehr bemerklich machen könne, und von den Dämmerungen höherer Ordnung galt das um so mehr. Grossen Nutzen für das tiefere Verständnis der Vorgänge gewährte diese ganz schematische Einteilung natürlich in keiner Weise.

§. 13. **Analyse des Dämmerungsphänomenes.** Schon im XVIII. Jahrhundert war die Notwendigkeit, nach Art anderer Erscheinungen auch diese durch aufmerksame Beobachtung schärfer zu analysieren, mehrfach anerkannt worden, und Lamberts tabellarische Zusammenstellung [161] gewisser besonders auffälliger Teilvorgänge bahnte auch dazu den Weg. Vor allem waren die zugehörigen Himmelsfärbungen und nicht minder auch die Ereignisse an der entgegengesetzten Seite des Firmamentes früher zu wenig beachtet worden.

Nach der formalen Theorie müssten Morgen- und Abenddämmerung von völlig gleich langer Dauer sein. Dass dies nicht der Fall sei, dass vielmehr die Morgendämmerung durchweg länger anhalte, stellte Hellmann [162] auf Grund seiner in Spanien angestellten Beobachtungen fest, indem er zugleich die relative Luftfeuchtigkeit als einen der Dämmerungsdauer günstigen Faktor kennen lehrte.

Als selbständiges Forschungsgebiet hat zuerst der uns bereits bekannte Funck (S. 99) die Dämmerungsfarben behandelt, und Mairan [163] folgte ihm darin nach. Weit später erst wurde v. Bezold [164] durch exakte Beobach-

Fig. 23.



tung der — später noch besonders zu besprechenden — Lichterscheinungen im Hochgebirge auf eine Ueberprüfung des gesamten Erscheinungskomplexes geführt, und die Ratschläge, welche eben derselbe [165] den Meteorologen für einschlägige Studien erteilte, haben sich als zutreffend erprobt. Gründliche Untersuchungen über die normale Dämmerung besitzen wir dann insbesondere von Riggenbach [166] und Kiessling [167], wenn auch der letztgenannte als Ausgangspunkt gewisse später der Erörterung zu unterziehende Ausnahmezustände genommen hat.

Das am meisten charakteristische Anzeichen der Dämmerung ist das Auftreten des sich rasch ausdehnenden dunklen Segmentes, wenn die Sonne unter den Horizont getreten ist. Nahe gleichzeitig macht sich am gegenüberliegenden Horizonte die zuerst von Funck [168] beschriebene Gegendämmerung — „anticrépuscule" nach Mairan — bemerkbar. Am Abendhimmel aber konstatiert der sorgsame Beobachter über einem nicht allzu breiten hellen Segmente SSHH (Fig. 23a; HH Horizont) die Ausbildung des neuerdings so genannten ersten Purpurlichtes, einer horizontal begrenzten rötlichen Scheibe PP, welche ziemlich rasch hinter dem hellen Segmente verschwindet, so dass Fig. 23b und Fig. 23c je zwei weitere Etappen in diesem Prozesse des Untertauchens darstellen. Zuletzt umsäumt, als letzter Rest der Scheibe,

nur noch ein purpurner oder rosaroter Streifen die obere Grenzlinie des hellen Segmentes. Nach einiger Zeit zeigt sich dann eine mehr abgeblasste rote Scheibe, das zweite Purpurlicht, in welchem Riggenbach (s. o.) nur den Reflex des ersterwähnten erblicken zu sollen meint. Bei hohem Luftdrucke, wenn also eben die Heiterkeit des Himmels eine recht ungetrübte ist, kann man die Entstehung und das Entschwinden dieser Purpurlichter am besten verfolgen.

Aus tropischen Regionen liegen gute Beobachtungen über die hier in grossen Zügen geschilderten Einzelheiten der Dämmerung von Burkhardt-Jetzler [169] vor, aber zum vollständigen Begreifen der Kausalzusammenhänge fehlt es uns doch noch sehr an thatsächlichen Unterlagen. Gar manche Modalität ist noch zu wenig erforscht, so z. B. das Aufzucken des grünen Strahles oder, wie man wohl auch sich ausgedrückt hat, des blaugrünen Flämmchens. In Alexandrien hat Franceschi [170] diese rasch vorübergehende Dämmerungsfarbe regelmässig wahrnehmen können; in dem Augenblicke, da die glühende Sonnenscheibe gerade noch mit ihrem oberen Rande den Horizont berührt, soll ein smaragdgrüner Strahl blitzartig aufleuchten, und man hat sogar die angebliche Sitte der alten Aegypter, auf ihren gefärbten Skulpturen die Sonnenscheibe grün abzubilden, hiermit in Verbindung zu bringen gesucht [171]. Sohncke, der am Meereshorizonte das Aufleuchten einer mehr bläulich schimmernden, senkrecht stehenden Flamme zum öfteren gesehen hat, erklärt dieselbe [172] als den sichtbaren Ueberrest des im Untergehen begriffenen Sonnenspektrums. „Sowie ein dem Horizonte nahe stehender Planet, durch ein gutes Fernrohr gesehen, zu einem Spektrum ausgezogen erscheint, dessen stärker gebrochenes, blau-violettes Ende höher als das rote gehoben ist, so muss auch das letzte sichtbare Stückchen der Sonne das blau-violette Ende eines Spektrums liefern.“

Eine abschliessende Zurückführung der Purpurlichter auf bekannte Gesetze der optischen Wellenlehre kann noch nicht als erbracht angesehen werden. Die von Schlesicke [173] mitgeteilte Aussage La Cailles, dass man auf Isle de France (im Indischen Ozean) die Dämmerung geradezu mit dem Tierkreislichte zu verwechseln pflege, gibt umsomehr zu denken, als auch Lambert [174] die nicht selten zu bemerkende Koinzidenz beider Phänomen hervorhebt; allein so nahe der Erdoberfläche befindet sich doch das Zodiakallicht (I, S. 95) sicher nicht, dass man es direkt zur Erklärung heranzuziehen ein Recht hätte. Auch die geometrische Theorie des vorigen Paragraphen reicht nicht aus, wie dies bereits Keill, dem die eigentümliche Gestalt der Purpurlichter bekannt gewesen zu sein scheint, klar eingesehen hat [175]. Nach Kiessling [176] spricht gegen die Annahme, dass man es bloss mit Strahlenspiegelung zu thun habe, vor allem die grosse Leuchtkraft des ersten Purpurlichtes; wohl aber denkt dieser Physiker an eine Beugungserscheinung, da Wasserkügelchen in der für den Sitz der Erscheinung berechneten Höhe von 15 bis 20 km sich noch massenhaft genug vorfinden dürften. Auch Pernter [177], der alle Möglichkeiten, der Erscheinung ausschliesslich mittelst der Zurückwerfung und Brechung beizukommen, erschöpfend abgehandelt hat, sieht sich zuletzt, unter Ablehnung einiger hauptsächlich von englischer Seite erhobener Einwürfe, veranlasst, der Kiesslingschen Theorie beizupflichten. Inwieweit eine andere optisch-meteorologische Erscheinung, deren der übernächste Paragraph zu gedenken haben wird, mit dem Purpurlichte identisch ist, soll später untersucht werden.

Nunmehr hat uns auch noch die vorhin nur kurz berührte ringförmige Gegendämmerung zu beschäftigen. Gerade dann, wenn die Sonne untergeht, ruht auf dem Osthorizonte eine diffus rötlich gefärbte Oese, deren beide Ausläufer gesättigt rot-violett erscheinen. In dem Maſse, wie die Sonne sinkt, erhebt sich dieses Lichtbild langsam über den Gesichtskreis, nimmt an Glanz ab und löst sich zuletzt in einen gleichmässigen Schimmer auf. Kiessling erblickt [178] in diesem — von Bergman, Cornu und Jesse mehrfach beschriebenen — Seitenstücke der eigentlichen Dämmerung eine in reflektiertem Lichte zu stande gekommene Beugungserscheinung und zeigt, wie sich dieselbe mittelst seines Nebelglühapparates (s. u. in §. 15) nachahmen lässt.

§. 14. Das Alpenglühen. Seitdem man weiss, dass das Dämmerungsphänomen kein einfaches, sondern ein recht vielgestaltiges ist, hat man

auch jene pittoreske Erscheinung, welche unter der Bezeichnung des Alpenglühens allen Gebirgsfreunden wohl bekannt ist, unter neuen Gesichtspunkten zu betrachten gelernt. Als einen wissenschaftlichen Interesses würdigen Gegenstand hat dasselbe zuerst R. Wolf aufgefasst, der [179] die Gunst mehrjährigen Aufenthaltes in der für solche Beobachtungen höchst vorteilhaft gelegenen Stadt Bern entsprechend auszunützen verstand.

Kurze Zeit vor Sonnenuntergang beginnen die der Bestrahlung ausgesetzten Bergwände einen rötlichen Farbenton anzunehmen, der immer kräftiger wird und, wenn steile Felsabstürze, Schneefelder oder Gletscher den Reflex verstärken, zuletzt in das eigentliche Glühen übergeht. Manche Gebirgskonfiguration ist dafür bekannt, dass sich in ihr dieses Glühlicht besonders schön offenbart; die „Steinberge", von Lofer (Mitterpinzgau) aus betrachtet, gewähren ein besonders prächtiges Panorama [180]. Der von unten ansteigende Dämmerungsschatten deckt nach und nach die glühenden Partien zu, und gleichzeitig verliert auch die Gegendämmerung am Osthimmel ihren Glanz. Nicht immer, aber beim Vorhandensein der bekannten Bedingungen doch recht häufig, zeigt sich das Nachglühen, welches bewirkt, dass die zuerst blassrötliche Farbe der Hänge und Gipfel sich in raschen Uebergängen in das reinste Fleischrot verwandelt. Dies ereignet sich etwa eine halbe Stunde nach Sonnenuntergang, und dann kommt es auch wohl noch, wieder eine kleine halbe Stunde später, zum zweiten Nachglühen, das sehr viel matter ist. In Savoyen und in der französischen Schweiz ist die Aufeinanderfolge der Lichteffekte eine so regelmässige, dass sich für die Hauptphasen besondere Namen herausgebildet haben: „coloration brillante", „teinte cadavéreuse" — Leichenfarbe kommt auch im Deutschen vor —, „résurrection", „extinction", „récoloration". Aus Wolfs Beobachtungen (s. o.) erhellt, dass dem Beginne der wichtigsten fünf Erscheinungsformen des Alpenglühens die nachstehenden Sonnenhöhen entsprechen: $+5^0$, $+2^0$ bis -2^0, -3^0, -4^0, -5^0. Auf das zweite Nachglühen, welches in den Nordalpen zweifellos seltener ist, hat Necker de Saussure [181] mit voller Bestimmtheit aufmerksam gemacht, und auch eine am Montblanc gemachte Wahrnehmung De la Rives [182] muss wohl in diesem Sinne verwertet werden.

Mit der Theorie des Alpenglühens hat sich Amsler-Laffon [183] wohl zuerst des näheren befasst, und zwar zieht er zur Erklärung der einzelnen Vorkommnisse ein Naturgesetz herbei, auf welches wir erst in §. 17 programmgemäss eingehen können. Doch lässt sich der springende Punkt in aller Kürze präzisieren. Während unter normalen Umständen (S. 92) die Refraktionskurve gegen die Erdoberfläche konkav verläuft, kann es am Abendhimmel, wenn die Luftfeuchtigkeit eine sehr grosse ist, zu einer völligen Umkehrung dieses Sachverhaltes kommen, indem der gebrochene Lichtstrahl seine konvexe Seite der Erde zukehrt. Dies vorausgesetzt, kann es geschehen, dass die Sonnenstrahlen mehrmals von unten her einen Berg erreichen, so dass dann die Erleuchtung desselben von unten nach oben fortschreitet.

Nun lässt sich allerdings nicht bestreiten, dass ein solcher Fortschritt der Beleuchtungsgrenze gegen die Bergspitze hin, wie ihn die Amslersche Theorie zur Voraussetzung hat, von sehr zuverlässigen Beobachtern wirklich konstatiert worden ist, allein die atmosphärischen Zustände, welche als gegeben angenommen werden müssen, wenn eine so auffällige Gestaltsveränderung der Refraktionskurve als möglich zugestanden werden soll, können zwar wohl eintreten, allein da das mehrmalige Glühen der Berge gar nicht zu den Seltenheiten gehört, so müsste der fragliche Zustand als ein nahezu normaler angesehen werden, und dies glaubt J. Maurer [184] in seiner Kritik jener Lehre nicht einräumen zu dürfen. Desgleichen betont er, und wir müssen ihm darin Recht geben, es dürfe das Alpenglühen nur im engsten Kontakte mit den Dämmerungserscheinungen überhaupt und im besonderen mit den Purpurlichtern betrachtet werden. Es ist seit dem Bekanntwerden der Beobachtungen

v. Bezolds [185] eine anerkannte Thatsache, dass erstes Purpurlicht und erstes Nachglühen, zweites Purpurlicht und zweites Nachglühen nicht allein zeitlich, sondern auch ursächlich zusammengehören, dass das atmosphärische Lichtphänomen das primäre, das tellurische eine Folge desselben ist. Man wird nicht schlechtweg behaupten können, aussergewöhnliche Strahlenbrechung könne nicht auch gelegentlich einmal, so wie dies Amsler-Laffon sich denkt, eine Rötung geeignet gelegener Hochgipfel bewirken, aber als Regel muss gelten: Das Alpenglühen ist zumeist der Reflex einer selbst wieder durch Beugung entstandenen Lichterscheinung.

§. 15. **Anormale Dämmerungserscheinungen.** Seit dem August 1883 hat eine ungewöhnlich prachtvolle Steigerung der gewöhnlichen Dämmerungsfarben, welche man ab und zu auch als Nebelglühen bezeichnete, viel von sich reden gemacht, und zwar in den verschiedensten Ländern. Da weder die von Ragona und W. Meyer vertretene [186] Ansicht (s. u. in §. 21), dass in den höheren Luftschichten ganze Bänke von Eisnadeln schwebten, noch auch v. Zechs Annahme [187] des Eindringens ausserirdischen Wasserdampfes in die Erdatmosphäre und der mit ihr verwandte, nur einen terrestrischen Ursprung dieses Dampfes annehmende Erklärungsversuch Lorscheids [188] volle Befriedigung gewährten, so machte bald eine ganz anders geartete Auffassung der neuen Erscheinung um so grösseres Aufsehen: Durch die vulkanische Katastrophe von Krakatau (I, S. 413) sollen ungeheure Massen feinst verteilter Emissionsprodukte in die Luft geschleudert, über den ganzen Erdball verbreitet und so zur Ursache für das Auftreten ungewöhnlich energischer Beugungserscheinungen geworden sein.

Nicht bloss in der Sunda-See, sondern auch an vielen anderen Orten befand sich, wie der Nachrichtendienst der deutschen Seewarte nach Neumayers Bekanntmachung [189] feststellte, die Erde damals in vulkanisch-seismischer Aufregung; zumal die Alaska-Vulkane arbeiteten auch ihrerseits sehr heftig Ende August 1883. Während der zweiten Hälfte des September und im Oktober begann sich das ungewohnte Phänomen des Nebelglühens im ganzen südöstlichen Teile des australischen Kontinentes zu zeigen [190]; im Dezember und im Januar 1884 wurde auch Deutschland in Mitleidenschaft gezogen [191]. Man war allgemein der Ansicht, dass man es mit einer wirklichen, nur eben in hohem Maſse lebhafter gewordenen, sozusagen potenzierten Dämmerung zu thun habe. Die Höhe der erleuchteten Luftschicht wurde zu 65 km berechnet. Assmann konstatierte seit Mitte Dezember um die ihrem Untergange sich zuneigende Sonne herum eine konzentrische, grell leuchtende Scheibe von etwa 12° sphärischem Radius, um welche sich dann weiterhin noch ein braun-violetter Ring von etwa 8° bis 12° Breite herumlegte. Die genaueste Kontrolle der Farbenspiele verdankte man dem für photographische Arbeiten geschulten Auge Krones [192]. Nach dem Verschwinden der meist in intensiv hellem Goldglanze erstrahlenden Sonne war der Westhimmel lebhaft rotgelb und orange gefärbt, und immer weiter breiteten sich gelbe Pigmente, gegen Osten hin ins Grünliche übergehend, über das ganze Firmament aus. Dann leuchtete der Untergangsbezirk in purpurroter Glorie auf, während der übrige Horizont ein stumpferes Rosa reflektierte, das nahe dem Zenit zu fahlem Grünlichgelb wurde, und nur nächst dem Untergangspunkte blieb das Purpurlicht, das ja auch in gewöhnlichen Zeiten nicht fehlt, länger bestehen. Früh morgens war die Farbenfolge die umgekehrte. Eine regelmässige Beobachtungsreihe hat man auch von Posselt in Nizza [193], der u. a. die vielleicht überraschende Thatsache erkannte, dass das Sternenlicht durch das Farbenspiel des Himmelsgewölbes nicht wesentlich abgeschwächt wurde.

Es war nun zunächst von Wichtigkeit, nachzuforschen, ob Aehnliches wohl schon in früherer Zeit zur Kenntnis der Forscher gelangt wäre. Alluard [194] behauptete, schon während der Winter 1879—80 und 1881—82 seien auf dem Puy de Dôme (I, S. 397) ähnlich intensive Dämmerungsfarben bemerkt worden.

Im Jahre 1831, in welchem gleichfalls bei den Bermudas und im Meere zwischen Sizilien und Afrika (I, S. 405) heftige submarine Ausbrüche stattfanden, haben L. Dufour, Kämtz, Harvey blaue Sonnenfärbung beobachtet [195], wie denn auch Kapitän Hollmann, der dem vorbereitenden, schwächeren Auswurfe des Krakatau-Vulkanes beiwohnte, eine azurblaue Sonne gesehen zu haben erklärt. Riccò erinnert [196], dass bei den Ereignissen von 1831 eigentliche Aschenergüsse fehlten, dass aber trotzdem starke Nebel, blaue Sonnenfärbung und das charakteristische rote Dämmerlicht auch damals mehrfach beobachtet worden seien. Darüber, ob auch gewisse in den Annalen der Mannheimer Sozietät (S. 3) verzeichnete Lichtphänomene denen, von welchen hier die Rede ist, anzugliedern seien, gehen die Meinungen von Traumüller [197] und Kiessling [198] einigermassen auseinander. Immerhin wird man sagen dürfen, dass es an geschichtlichen Präzedenzfällen nicht gänzlich fehlt.

Ehe wir gewisser ganz isoliert dastehender Begleiterscheinungen des Nebelglühens der achtziger Jahre Erwähnung thun, möge zuvor noch darauf hingewiesen werden, dass alle die gewöhnlichen Vorkommnisse, welche zum Gesamtbilde einer Dämmerung gehören, gleichfalls eine Verstärkung erfuhren. Auch die Gegendämmerung, welche die Hauptdämmerung in gewisser Beziehung einleitet [199], trat glänzender hervor. Das zweite Purpurlicht, sonst ziemlich matt leuchtend, erwies sich seit dem letzten Viertel des Jahres 1883 nach Busch [200] mächtig entwickelt. Kurz, es muss sich damals in der Luft etwas befunden haben, was die Dämmerung weit grossartiger machte, als sie dies ohne das Vorhandensein eines solchen Substrates geworden wäre.

Zwei besondere Erscheinungen aber zogen in jener Zeit — und seit derselben — die Augen der Fachmänner mit noch grösserer Macht auf sich. Dies waren einerseits die leuchtenden Nachtwolken und andererseits der sogenannte Bishopsche Ring. Den ersteren soll ein besonderer Paragraph gewidmet werden, weil bezüglich ihrer die Zusammengehörigkeit zu dem uns zunächst beschäftigenden Bereiche von Ereignissen noch nicht als absolut sichergestellt werden kann. Der Sonnenring dagegen (s. o.) gehört schon deshalb ohne allen Zweifel an diese Stelle, weil er sich nicht dauernd in der Atmosphäre erhielt, sondern nach und nach den Blicken der Menschen sich wieder ganz und gar entzog.

Zuerst von einem englischen Geistlichen, Bishop in Honolulu, gesehen und deshalb auch dessen Namen führend, war der bald als rot, bald auch, z. B. von Grützmacher [201], als braunrot bezeichnete Ring seit Spätherbst 1883 nach und nach auf der ganzen Erde sichtbar geworden [202]. Oestlicher gelegene Orte kamen im allgemeinen vor westlich gelegenen an die Reihe. Mehrere Jahre dauerte die unveränderte Sichtbarkeit an, aber schon 1886 konnten manche den Ring nicht mehr auffinden, und wenn Dreisbach [203] im Februar 1886 in Arnsberg (Westfalen) einen Mondring von beiläufig 10° Halbmesser wahrnahm, so nahm er schon nicht mehr für denselben die volle Analogie mit dem Bishopschen Ringe in Anspruch. Auch ist eine Schwächung des von jenem ausgesandten Lichtes dadurch angedeutet, dass man im Anfange das Phänomen fortwährend sah [204], während es späterhin nur unter günstigen Bedingungen sich zeigte und oft vom Beobachter gesucht werden musste. Selbstredend war ein höherer Durchsichtigkeitsgrad der Atmosphäre von Vorteil, wie denn Kremser [205] in der reinen Luft des Schneekoppengipfels den Ring weit klarer als in der trüben Luft Berlins (S. 97) erkannte. Mit am längsten hat Busch [206] die Beobachtung des Sonnenringes durchgeführt, indem er ihn erst im Juli 1886 gänzlich dem Auge entschwinden sah, und ebenso nahm Busch — wie auch Dreisbach (s. o.) und Kremser (s. o.) — einen braunen Ring um den Mond wahr. Nach den sehr genauen Messungen Riggenbachs (s. o.) betrug der sphärische Radius des zwischen äusserem und innerem Grenzkreise mitten inne liegenden Kreises 14°, der äussere Radius 22°. Sowohl Riggenbach als auch Busch sind geneigt, den Bishopschen Ring mit den Dämmerungserscheinungen überhaupt in engste Beziehung zu setzen, so dass das Purpurlicht als der unter gewöhnlichen Verhältnissen allein sichtbare Bestandteil des Lichtkranzes aufzufassen wäre. Der grössere Rest

desselben sei für gewöhnlich durch die stärkere Lichtabsorption unsichtbar und trete erst dann hervor, wenn durch Erfüllung der Atmosphäre mit geeigneten Stoffen lebhaftere Beugungsfarben hervorgerufen würden. Und seit 1883 sei dies eben mehrere Jahre lang der Fall gewesen, wie auch früher bereits gelegentlich. Denn wir dürfen nicht vergessen, dass das auffallende Blaugrün („Greenish-Blue") schon vor mehreren Jahren von Th. Forster [207] registriert worden ist, und dass das ganze Phänomen sich von der prismatischen Dämmerung, welche Poëy ebenfalls schon früher beschrieb [208], doch nur graduell unterschieden hat.

Gewiss können Störungen im optischen Verhalten der Atmosphäre auch ohne direkte Abhängigkeit von nachweisbaren Umwälzungen auf der Erdoberfläche eintreten; Busch [209] nahm eine solche für 1890—91 an, ohne auf sie allein den Umstand zurückführen zu wollen, dass ihm noch 1890 Beobachtungen des Bishopschen Ringes bei Sonnenuntergang geglückt waren. Endlich ist auch daran zu denken, dass, wie Zenker [210] ausführte, ein brauner Ring um die Sonne schon mehrfach bei Sonnenfinsternissen in die Erscheinung getreten ist. Das wäre nicht möglich, wenn nicht zu den in der Luft bereits vorhandenen Objekten noch etwas Neues, früher nicht Vorhandenes hinzugetreten sei, und zwar muss der Ort dieser Ringbildung jenseits der Wolkendecke gesucht werden.

Es ist mithin daran festzuhalten: Den höheren Schichten der Atmosphäre sind Festkörper in feinst verteiltem Zustande und in grosser Menge einverleibt worden, mit deren Auftreten auch das Nebelglühen und der Bishopsche Ring sichtbar zu werden begannen. Woher diese Staub- oder Aschenmassen stammen, war anfangs eine offene Frage, und auch heute noch kann dieselbe als nicht völlig geklärt gelten, wenn auch die Wahrscheinlichkeit vulkanischer Provenienz sehr gestiegen ist. Wir wollen zuerst in Erfahrung bringen, welche Argumente gegen diese Entstehung sich erhoben, wollen dann weiter die Möglichkeit anderer, rein terrestrischer Ursachen — von den extratellurischen war bereits (S. 109) die Rede — in Betracht ziehen und uns schliesslich mit den für die vulkanische Hypothese sprechenden Beweisgründen beschäftigen.

Für zweifelhaft hielt diese letztere Hann [211] deshalb, weil ein so langes Schweben fester Partikeln in der Luft unverbürgt sei und auch das nahezu gleichzeitige Hervortreten des Glühlichtes an verschiedenen Orten der Erde gegen den Ausgang der atmosphärisch-optischen Störung von einem bestimmten Punkte spreche. Die ersterwähnte Erwägung wird auch von Flammarion [212] betont, allein heute wissen wir, dass solche Versetzung der Luft mit Festkörperchen, die langsam sinken und zeitweise wieder in einen aufsteigenden Luftstrom geraten, lange anhalten kann, und die allmähliche, wiewohl rasche Verbreitung des Substrates ist auch auf statistischem Wege festgestellt worden. Damit ist dann auch der wichtigste Einwand von Hazen [213] hinfällig geworden, denn die auch von ihm hervorgehobene Undurchsichtigkeit der Aschenteilchen ist den gleich nachher zu besprechenden Untersuchungen von Kiessling zufolge durchaus nicht geeignet, der Erklärung Schwierigkeiten zu bereiten. Auch Riccò [214] hat wohl kaum recht, wenn er den Umstand, dass nach einer bedeutenden Aetna-Eruption die Sonne keinen blaugrünen Schimmer, der Dämmerungshimmel bloss gelbe und nicht auch rote Tinten annahm, gegen die Krakatau-Hypothese ausspielt, denn mit der Grossartigkeit dieser Katastrophe lässt sich eben doch keine noch so kräftige vulkanische Zuckung auf europäischem Boden in Parallele stellen.

Man möchte nun freilich weiter fragen: Da es doch nachgewiesenermassen stetig wirkende Ursachen gibt, welche der Luft eine Unsumme von Verbrennungsprodukten zuführen, wie kommt es, dass nicht öfter und regelmässiger die vielerörterten optischen Folgen sich geltend machen? Darauf ist zu erwidern: Erstlich verbleiben diese Rauch- und Staubmassen durchweg in den unteren atmosphärischen Regionen, und fernerhin sind ja auch Analogien des Nebelglühens, nur eben in bescheidenem Maſse, zum öfteren beobachtet worden. Ganz zutreffend schildert v. Dankel-

man [215] die afrikanischen Grasbrände, welche die Atmosphäre weithin und auf lange Zeit in einen Rauchmantel verwandeln und nach und nach gewiss mehr zerstäubte Festkörper liefern, als dies der furchtbarste Vulkanausbruch vermöchte, aber zu jener Höhe, in der, wie dargethan, der Sitz der Farbenspiele ist, können die Rauchmassen nicht emporgelangen, weil eine treibende Kraft fehlt. Der Rauch aus den tausenden von Fabrikschlöten Chicagos wird nach Langley [216] bis an die pazifische Küste getrieben, wie ja auch Morrauch (S. 20) einen sehr weiten Verbreitungsbezirk hat, allein optisch erreicht der die Erdoberfläche einhüllende Dunstschleier nur so viel, dass die Sonne strahlenlos in rötlichem Glanze blinkt. Eher wäre an Meteorstaub zu denken, und durch Klinkerfues, v. Nordenskiöld und Plassmann ist auch die Anregung in die gelehrte Welt ergangen [217], den durch ausgiebige Vernichtung von Meteoriten — vielleicht bei einer Begegnung mit dem Bielaschen Kometen (I, S. 85) — entstandenen Resten die ausschlaggebende Rolle bei der Bildung des beugenden Mittels zuzuweisen. Undenkbar ist das gewiss nicht, allein bei voller Würdigung der zeitlichen Umstände müssen wir es als ungleich näherliegend betrachten, die Auswürflinge von Krakatau als das eigentliche Agens bei der Auslösung der mit 1883 hervortretenden Dämmerungserscheinungen anzusprechen.

Englischerseits sind alle die Fragen, welche mit der geographischen Verbreitung der Krakatau-Folgeerscheinungen und speziell mit den optisch-meteorologischen Prozessen zusammenhängen, durch die Bemühungen der Experten (I, S. 412) — Strachey, Stokes, Scott, Douglas, Lockyer, Russell — in musterhafter Weise geklärt worden [218], und so bahnte sich denn eben die vulkanistische Theorie an, welcher gleich anfangs v. Bezold, Forel, Jesse und Maney ihre Zustimmung gaben, und welche seitdem einen sehr grossen Kreis von Anhängern sich erworben hat. Eine Berechnung der Geschwindigkeit, mit welcher die den Vulkanstaub mitführende Luftwelle ihre Bahn durchmessen haben muss, suchte Ringwood [219] auszuführen; auf der Nordhalbkugel wären am Tage 3208, auf der Südhalbkugel 3095 km zurückgelegt worden, was an sich wohl glaubhaft erscheint. Bishop, welcher von der gleichen Anschauung ausgeht, weist auf Verbeeks Berechnung (I, S. 413) des ungeheuren Volumens des in die Luft gesprengten Berges (18 ckm) hin [220]. Weitaus die gründlichsten Diskussionen für und wider haben wir in den Abhandlungen von Kiessling [221] und Pernter [222] zu suchen, deren Inhalt einer eingehenderen Analyse sehr würdig ist. Das spezifisch optische Problem, wie denn eigentlich — mag das die Strahlung beeinflussende Medium welchen Ursprung immer besitzen — die uns bekannten Wirkungen zu erklären seien, bleibt vorläufig noch beruhen, bis wir über die vorbereitenden Fragen zu möglichster Klarheit gelangt sein werden.

Um noch einmal kurz zu rekapitulieren, kommen also drei Dinge als Objekte der Untersuchung vorwiegend in Betracht: Die ungewöhnliche Sonnenfärbung, die lange Dauer und der Farbenreichtum der Dämmerung, zuletzt der Bishopsche Ring. Vier Perioden müssen mit Kiessling [223] in der Entwicklung dieser Erscheinungen unterschieden werden. Während der ersten (September 1883) ist ausschliesslich eine äquatoriale Zone betroffen; während der zweiten (bis Mitte November genannten Jahres) dehnt sich der Prozess auf beiden Seiten gegen die Pole hin aus; die dritte Periode (bis Ende Dezember) ist durch entschiedene Bevorzugung der nördlichen Hemisphäre ausgezeichnet; und die vierte, weit umfassendere, ist die Zeit des langsamen Rückganges. Sorgsame Vergleichung der Wege, auf welchen sich die Ausdehnung der Einzelphänomene vollzog, zwingt zu der Anerkennung der Thatsache: Geographischer Ausgangspunkt ist der Westen des hinterindischen Archipels, näher bestimmt die Sundastrasse. Wenigstens für den ersten Zeitraum lässt sich das Eindringen einer kosmischen Staubwolke in die Erdatmosphäre nicht wohl annehmen. Die mittlere Fortschreitungsgeschwindigkeit kann auf 36 bis 39 m in der Sekunde, im Maximalfalle auf 45 m angesetzt werden; es wäre irrig, eine solche Geschwindigkeit für die Dauer einzig aus der freilich un-

gemein grossen lebendigen Kraft des Auftriebes herzuleiten. Dieser selbst konnte, wie schon erwähnt, nur bewirken, dass sich die Aschenmassen gleich anfangs sehr weit von der Erdoberfläche entfernten; nachher musste eine andere Kraft einsetzen.

In der That wissen wir, dass konstante Luftströmungen in den höheren atmosphärischen Regionen zu finden sind; wir werden uns in Kap. VI mit den einschlägigen Forschungen von Ferrel und Werner Siemens bekannt zu machen haben. Theoretisch wären ganz gut noch grössere Geschwindigkeiten zulässig, als diejenigen sind, deren soeben gedacht wurde. Beachtenswert ist auch der Umstand, dass das von Verbeek (I, S. 412) umschriebene Gebiet der Aschenfälle alle die Orte in sich schliesst, von welchen Beobachtungen des Nebelglühens u. s. w. gemeldet wurden.

Die Bedingungen, welche den Vulkanstaub bis zu den gewaltigen Höhen von 30 km und mehr hinaufführen konnten, unterzog Pernter [224] genauer Erörterung, als deren Endergebnis besonders das anzusehen ist, dass der nach oben verpflanzte Dunstnebel sehr verschiedenartige Bestandteile in sich barg: „Ultramikroskopischen vulkanischen Staub in Form von feinsten Bimssteinplättchen, Nädelchen, Trümmer kleinster Kügelchen; Wassertröpfchen, Eiskügelchen, Eiskryställchen, deren Kerne obiger Staub lieferte; Tröpfchen von schwefliger Säure und Chlorwasserstoff, vielleicht auch Schwefelkryställchen, überdies Gase.“ Je mehr sich der Dunstnebel, sei er nun mehr ein trockener oder ein feuchter gewesen, über die Erde hin verbreitete, um so mehr verdünnte er sich; die schwereren Teilchen senkten sich schon bald, die leichteren erst viel später zu Boden, und damit ist für die fortschreitende Verminderung des Glanzes und der Pracht der bekannten Lichterscheinungen die Ursache gegeben [225]. Ja, der Bishopsche Ring konnte sogar, und dies stimmt mit der Erfahrung überein, erst später sichtbar werden, nachdem nämlich die grösseren Festkörper bereits ausgeschieden waren [226]. Zum Schlusse sei noch bemerkt, dass Pernter, nach einer Stokeschen Formel [227] rechnend, die Fallzeit der Staubpartikeln berechnet und für diejenigen von minimalster Grösse findet, sie könnten recht wohl drei volle Jahre sich im Stadium langsamster Abwärtsbewegung erhalten haben. Nimmt man noch dazu, dass ja der Fall schwerlich ein kontinuierlicher war, so ist offenbar auch einer der gefährlichst erscheinenden Gegengründe aus der Welt geschafft.

Es erübrigt uns demzufolge jetzt nur noch die letzte Etappe zu unserem Ziele, und um sie zurückzulegen, wenden wir uns den Untersuchungen von Kiessling [228] zu, welche über die Frage das meiste Licht verbreitet haben. Seine Experimente machen es im hohen Grade wahrscheinlich, dass man es mit einer Summe von — allerdings verwickelten — Diffraktionserscheinungen zu thun habe. Wenn auch noch manches weiterer Klärung bedürftig bleibt, so ist doch ein fester Anhaltspunkt für die Entschleierung eines grossartigen Naturrätsels gewonnen.

Kiessling setzt [229] eine Glasglocke auf eine durchbohrte, matt geschliffene Glasplatte auf; durch den die Oeffnung verschliessenden Gummipfropf sind mehrere Glasröhren hindurchgesteckt, und nun werden in die Glocke, Diffraktionsraum genannt, schweflige Säure und Ammoniakgas geleitet, wodurch sich im Rezipienten bald dichte weisse Staubwolken von schwefelsaurem Ammoniak bilden. Richtet man durch eine solche Wolke hindurch den Blick nach der Sonne, so erleidet deren Bild merkwürdige Farbenveränderungen. Zuerst erscheint es wie glänzendes Kupfer; nächstdem nimmt es einen violetten Ton an und geht schnell durch ein dunkles Karmoisin hindurch in Azurblau über. Der Uebergang wird ein besonders rascher, wenn die Gasmengung einen Feuchtigkeitszusatz hatte. Mittelst eines Heliostatenspiegels lässt sich das Farbenbild auch objektiv auf die Wand projizieren. Lässt man statt der erwähnten Gase vielmehr Wasserdampf in den Diffraktionsraum eintreten, so bemerkt man Farbenwechsel, die zwischen Braunrot und Graublau spielen; nur grüne Sonnenbilder scheinen sich auf diese Weise nicht erzeugen zu lassen, weil, wie Pernter [230] meinte, vielleicht eine Konkurrenz zweier Gruppen von Interferenzursachen in Mitte liegt. Der Dunst, welcher an

der Entstehung der Farben die Schuld trägt, muss aus massiven Kügelchen bestehen [231]. Durch Temperaturerniedrigung kann man einen raschen Wechsel durch alle möglichen Färbungen hindurch zuwege bringen, welche jedoch sämtlich den Charakter von Mischfarben tragen. Man darf es somit als gesichert betrachten: Damit die bekannten Dämmerungsfarben entstehen, bedarf es als Substrates eines äusserst feinen, gleichmässigen, aus Wasserkörperchen sich zusammensetzenden Nebels, dessen Bildung selbst wieder von dem vorherigen Vorhandensein äusserst feinen Staubes abhängig ist. Auch das erste Purpurlicht einer gewöhnlichen Dämmerung scheint im Grunde nichts anderes als der obere Teil eines sehr stark exzentrischen Diffraktionsbildes zu sein. Jedenfalls darf man aber, wie Kiessling ebenfalls feststellte [232], nur mit Kondensationszentren von fast ganz genau gleicher Grösse experimentieren, wenn man die Farben rein bekommen will. Die Farben sind weder reine Beugungs-, noch reine Absorptionsfarben; Kiessling möchte den ganzen Vorgang als optische Diffusion kennzeichnen, die Farben als Diffusionsfarben. Partikeln sublimierten Schwefels eignen sich ganz besonders gut dazu, alle gewünschten Modalitäten nachzubilden, und es liess sich namentlich auch ein Beugungsbild darstellen, welches grosse Aehnlichkeit mit dem Bishopschen Ringe bekundete. Jedes Detail, dahin fasst Kiessling [233] seine Ergebnisse zusammen, ist allerdings durch die hier im Auszuge geschilderte Experimentaluntersuchung noch nicht entschieden; man weiss z. B. noch nicht, welches der doch unleugbar vorhandene Zusammenhang zwischen der Entwickelung des Purpurlichtes, dem Drucke der Luft und den durch die vertikale Abnahme der Temperatur beeinflussten Feuchtigkeitsverhältnissen ist, und wie sich die Polarisation des Himmelslichtes (§. 10) zur grösseren oder geringeren Dunsterfüllung der Atmosphäre verhält. Allein soviel steht fest, dass feiner vulkanischer Staub die bekannten Erscheinungen der anormalen Dämmerung hervorbringen konnte, ja musste.

Auch die historischen Analogien besitzen unleugbar eine gewisse Beweiskraft. Wir finden bei Kiessling [234] mehrere derselben angeführt; von 989 n. Chr. bis 1882 lassen sich im ganzen 47 Jahre aufzeigen, während deren für längere oder kürzere Perioden ungewöhnliche Trübungen des Himmels oder Farbenerscheinungen zur litterarischen Besprechung gelangt (vgl. auch I, S. 99). Ueber das Vorkommnis vom 7.—12. April 989 liegt in der um 1040 niedergeschriebenen arabischen Chronik des Jahjâ Ben Saîd ein Bericht aus Kairo vor, der zumal wegen der Angabe über die veränderte Sonnenfärbung unser Interesse erregt. Der Verfasser verdankt diese Notiz einer freundlichen Mitteilung von Professor Sachau in Berlin. Höchst wahrscheinlich war damals nicht Vulkanstaub, sondern fein zerriebener Wüstensand die Ursache des Ereignisses; die Folge war in der Hauptsache die gleiche.

Bei früherem Anlasse wurde, als noch ungleich weniger Material zur Gewinnung eines abschliessenden Urteiles vorlag, folgende These aufgestellt [235]: Alles in allem scheint die vulkanistische Hypothese durch optische Gründe wesentlich gestützt, durch Erwägungen allgemein-geophysikalischer Natur aber nicht ernstlich gefährdet zu sein. Es besteht kein Grund, heute an der Schlussfolgerung von damals eine Aenderung anzubringen; höchstens würde die mehr negative Fassung durch eine kräftigere positive zu ersetzen sein.

§. 16. **Die leuchtenden Nachtwolken.** Es wurde schon früher (S. 36) bemerkt, dass es eine gewisse Gattung feiner Wölkchen gäbe, welche in ganz ausserordentlicher Höhe schweben. Mit diesen Gebilden hat man eben auch seit dem für die meteorologische Optik so fruchtbringenden Jahre 1883 sich eingehend beschäftigt; ein zwingender Beweis dafür, dass sie erst seitdem Objekt der Beobachtung sein konnten, ist allerdings nicht erbracht, aber dem Synchronismus scheint doch auch eine gewisse Kausalbeziehung zu Grunde zu liegen. Es ist für diese höchsten uns bekannten Kondensationsprodukte der Name der

leuchtenden oder silberglänzenden — wohl auch der irisierenden — Nachtwölkchen herrschend geworden.

Eine recht plausible Vermutung J. Schreibers [236] geht dahin, schon im XVII. Jahrhundert habe Maignan solche Wolken gesehen; eine Stelle seines für die Geschichte der Optik überhaupt wichtigen Werkes [237] lasse sich nur in diesem Sinne deuten. Seit 1883 ist es Jesse, der mit unermüdlichem Eifer die merkwürdige Erscheinung unter Kontrolle hält. Durch eine Modifikation des Alhazenschen Verfahrens (S. 8) ermittelte er [238] zunächst eine Höhe von 17 km für die als Ort der Dämmerungsphänomene zu betrachtende Dunstschicht; eine Höhe, die allerdings betreffs der Wölkchen nachmals noch eine wesentliche Steigerung erfuhr, während andererseits die Messungen von Mohn [239] und Reimann [240] bei weitem geringere Werte lieferten, so dass man mehrfach sich dem Kompromissgedanken zuneigte, es möge wohl zwei ganz verschiedene Klassen leuchtender Wolken geben. Jedenfalls ist auch die von Jesse [241] später gefundene Maximalzahl — 49 bis 54, ja sogar 83 km Entfernung vom Erdboden — noch keineswegs widerlegt.

In der ersten Zeit, also Ende 1883, begannen sich die silbernen Wölkchen etwa zwei Stunden nach Sonnenuntergang zu zeigen, um nach einer beiläufigen Sichtbarkeitsdauer von zwei Stunden wieder zu verschwinden [242]. Keine Stelle des Himmelsgewölbes wird, wie die von Jesse [243] gesammelten Korrespondenznachrichten besagen, von den vielfach an Cirren erinnernden, aber doch auch wieder deutlich von ihnen unterschiedenen, schimmernden Wölkchen gemieden. Die Leuchtkraft derselben ist eine wechselnde. Unter allen Umständen ist die dort oben schwebende Materie äusserst dünn; R. v. Helmholtz [244] fand, dass das Licht nicht polarisiert — also auch nicht reflektiert — sei und durch rote Gläser nahezu vollständig ausgelöscht werde. Mutmasslich gehe Licht von grösserer Wellenlänge unbeanstandet durch den dünnen Stoff hindurch, wogegen kurzwelliges zerstreut werde. Als eine bemerkenswerte Eigentümlichkeit des Phänomenes verdient die verzeichnet zu werden, dass die Sichtbarkeit desselben sich nicht gleichmässig über das ganze Jahr verteilt, sondern dass nach Jesse [245], und zwar auf beiden Halbkugeln, die Zeit der Sommersonnenwende bevorzugt wird.

Die Ansicht Mac Connels [246], dass eine Beugung des Lichtes von sehr hoch schwebenden Eisnadeln den Silberglanz verursache, steht anscheinend ebenso vereinzelt da, wie diejenige Grützmachers [247], „dass ein stiller, elektrischer oder magnetischer Lichtprozess obwalte.“ Als eine der Nachwirkungen des Krakatau-Ereignisses denkt sich Busch [248] die irisierenden Wolken. W. Förster und Jesse dagegen [249] fassen die Erscheinungen unter einem noch allgemeineren Gesichtspunkte auf; darauf bezog sich eine von uns schon früher (S. 90) gemachte Notiz.

Indem man die Bewegungen, welche die Nachtwölkchen erkennen lassen, näher untersuchte, kam man zu dem eine ganz neue Perspektive eröffnenden, auch von Busch [250] gebilligten Schlusse: Diese Bewegungen werden hauptsächlich durch das widerstehende Mittel des Weltraumes hervorgerufen. Dass ein solcher intraplanetarer Stoff (Aether) existiere, war uns ja (I, S. 101) auch an und für sich wahrscheinlich geworden, aber hier läge eine erste, sozusagen greifbare Bethätigung des bisher so gut wie immateriell behandelten Mediums vor.

Jeder Geophysiker wird der von Förster und Jesse an die Fachmänner ergangenen Aufforderung zur systematischen Beobachtung der mysteriösen Erscheinung besten Erfolg wünschen. Denn darüber kann man sich nicht täuschen, dass die Intensität des Wolkenlichtes rasch abnimmt, und dass in nicht ferner Zukunft den einschlägigen Studien die Vorlage entzogen sein wird. Eben dieses allmähliche Entschwinden würde zu Gunsten der vulkanistischen Hypothese sprechen. Dem gegenüber kann man jedoch auch wieder nicht verkennen, dass die Wolkenmaterie sich nicht auf die Erde zu, sondern eher von ihr weg zu bewegen scheint. Denn unläugbar haben Jesses Höhenbestimmungen fortlaufend

grössere Werte für den Abstand der leuchtenden Wolken von der Erde ergeben, bis in einer Höhe von mehr denn 80 km eine gewisse Stabilität eintrat. Auf diese Thatsache wird vielleicht künftig noch besonderes Gewicht gelegt werden müssen.

§. 17. **Kimmung und Luftspiegelung.** Die Depression des Horizontes, welche wir als einfache geometrische Konsequenz früher (I, S. 141) kennen lernten, kann sich infolge ungleich starker Erwärmung der von den Sehstrahlen durchlaufenen Luftschichten bedeutend vergrössern, und zwar wird solche Vergrösserung, wie Clausius anführt [251], besonders da beobachtet, wo auf hoher See warme Meeresströmungen zur Steigerung der Temperatur der nächst benachbarten Luftschichten beitragen. Umgekehrt kann durch Abkühlung eine Erhebung des Horizontes, eine Kimmung in der Sprache des Seefahrers, zuwege gebracht worden.

Solche Kimmung ist nach J. Müller [252] an den Ufern des Bodensees nichts ungewöhnliches. Dass ferne Inseln, über die weite Meeresfläche weg gesehen, sich scheinbar hoch über dem Wasserspiegel erheben, hat vielleicht schon Ptolemäus bemerkt gehabt [253]. Latham konnte im Hochsommer 1797 von Hastings aus die französische Küste bei Dieppe ohne Teleskop wahrnehmen [254]. Die sogenannte Fata Morgana (Fée Morgain; schon im Mittelalter als Fâmurgân bekannt) war ursprünglich nichts anderes als die Erscheinung eines entfernten Ortes, einer Burg u. dergl., in unerwarteter Höhe über dem Horizonte; die Strasse von Messina scheint die Heimat dieses Namens zu sein, und Minasi [255] hat die gelehrte Welt zuerst mit den in jener Gegend besonders häufig auftretenden Kimmungserscheinungen bekannt gemacht. Erst nachher ist dieser Ausdruck auch auf alle jene Phänomene übertragen worden, die man gemeiniglich — wie sich zeigen wird, nicht ganz zutreffend — als Luftspiegelungen zusammennimmt.

Auch in gemässigten Breiten kann es wohl vorkommen, dass man ein fernes Objekt direkt und zugleich dessen Spiegelbild erblickt. In der Nähe des Zirknitzer Sees (Krain) und in den weiten Flächen des ungarischen Banates sind solche Luftbilder, nach J. Grubers Erzählung [256], allgemein bekannt. Manchmal kombinieren sich Kimmung und Luftspiegelung; so sah z. B. Billwiller [257] vom Freudenberge (bei St. Gallen) aus das württembergische, 36 km entfernte und zumeist durch die Erdwölbung verdeckte Schloss Waldburg vergrössert und darüber das umgekehrte, auf dem Kopfe stehende Bild. Auch in der provenzalischen Wüste Crau, der französischen Sahara nach Martins Bezeichnung [258], sollen diese Vorkommnisse niemandem fremd sein. In Nordafrika, Arabien und vor allem in Unterägypten endlich gehören phantastische Luftspiegelungen geradezu zu den Alltäglichkeiten; wenn die untere Luftregion von dem stark bestrahlten Boden her erhitzt zu werden beginnt, so tritt dem Anscheine nach eine bis an den Horizont reichende Ueberschwemmung ein, aus welcher Hügel, Dörfer und Palmenhaine hervorragen, während man zugleich deren Spiegelbilder erblickt. Darauf, dass der Wüstenwanderer Wasser zu sehen glaubt, ohne es doch erreichen zu können, weist schon die 24. Sure des Korans hin [259], welche diese Trugbilder unter dem Namen Serab kennt.

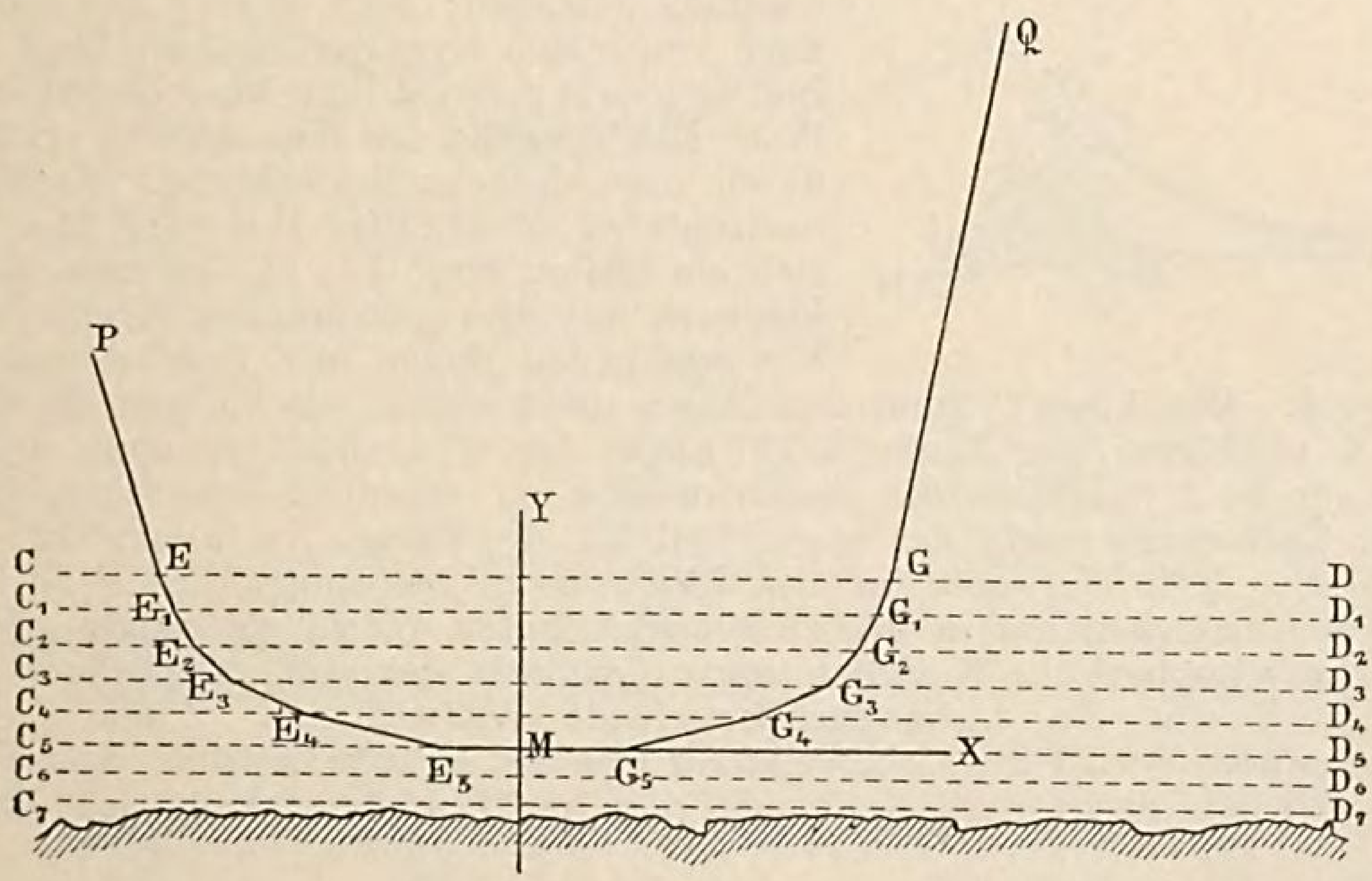
Das Seegesicht („mirage“) beruht auf ähnlichen Bedingungen; Schiffe und Küsten erscheinen verkehrt in der Luft schwebend. Zumal von Woltmann und Büsch sind merkwürdige Fälle dieser Art gesammelt worden, welche in einer Schrift [260] des letzteren besprochen werden. Büsch erzählt u. a., dass er Bremen von einer ungeheuren Ueberschwemmung der Weser betroffen wähnte, weil die Stadt sich scheinbar in einer weiten Wasserfläche spiegelte.

Die Theorie der Luftspiegelung begründete Monge [261], der sich jedoch zu sehr an den Wortsinn hielt und deshalb auf die unrichtige Meinung verfiel, dass der mehrfach vom Einfallslote weg gebrochene Lichtstrahl zuletzt an einer horizontalen Ortsfläche gleicher Dichte eine totale Reflexion erleide, um sich dann wieder aufwärts zu wenden. Insoweit es unter der

Herrschaft dieser theoretisch unrichtigen, praktisch freilich die Wahrheit doch nahe streifenden Anschauung möglich war, förderte Wollaston [262] unsere Kenntnis von dieser ungewöhnlichen Spiegelung durch sinnreich ausgedachte Experimente. Den richtigen Weg betrat J. Biot [263], und was er, der ganz der Emissionstheorie huldigte, noch vermissen liess, holte der auf dem Standpunkte der Undulationstheorie stehende Bravais [264] nach. In neuester Zeit hat O. Wiener [265] die Lehre von den gekrümmten Strahlen zu einem selbständigen Kapitel der Optik erhoben und in jeder Hinsicht trefflich durchgearbeitet.

Es seien die Grenzflächen sehr dünner Schichten von durchaus gleicher Dichte durch die parallelen geraden Linien CD, C_1D_1, C_2D_2, C_3D_3, C_4D_4, C_5D_5, C_6D_6, C_7D_7 (Fig. 24) dargestellt; nach oben zu werden die Dichten zunehmen, weil ja die dem Erdboden nächstanliegende Schicht von jenem die meiste Wärme empfängt. Der von P kommende Lichtstrahl wird also, indem er bei E, E_1, E_2, E_3, E_4 an eine neue Grenzfläche herantritt, mehr und mehr so gebrochen, dass die einzelnen Teilstrahlen mit dem Horizonte immer kleinere Winkel einschliessen; zuletzt wird dieser Winkel Null, so dass ein — thatsächlich unendlich kleines — Stück E_5G_5 des gebrochenen Strahles horizontal verläuft. Die weitere Brechung nach aufwärts erfolgt dann so, dass die Schnittpunkte mit den Ortsflächen gleicher Dichte, G_4, G_3, G_2, G_1, G zu E_4, E_3, E_2, E_2, E_1 mit Bezug auf die im Mittelpunkte M von E_5 G_5 ge-

Fig. 24.



zogene Vertikallinie als Symmetrieachse symmetrisch zu liegen kommen, und wenn zuletzt der Strahl GQ ausfährt, so muss $\sphericalangle EGQ = \sphericalangle PEG$ sein. Dass in der Natur, wenn die Dichte von unten nach oben stetig zunimmt, die gebrochene Linie in eine kontinuierlich gekrümmte mit horizontaler Scheiteltangente übergeht, bedarf kaum der Erwähnung, und zwar ist diese Kurve eine Parabel.

Dies beweist Biermann [266], indem er die verlängerte MG_5 als X-Achse, die in M errichtete Vertikale als Y-Achse betrachtet. Die Flächen gleicher Dichte sind also sämmtlich der Abszissenachse parallel; an jener Fläche, deren Brechungsexponent durch die Zahl n gegeben sein möge, bildet der Strahl mit der Horizontalebene den Winkel ε, und ein zweiter Strahl, der mit ersterem einen unendlich kleinen Winkel bildet, schliesst mit dem Horizonte den Winkel $(\varepsilon + d\varepsilon)$ ein. Dann liefert das bekannte Brechungsgesetz (S. 92) die folgenden Gleichungen:

$$\frac{\cos(\varepsilon + d\varepsilon)}{\cos\varepsilon} = \frac{n}{n + dn}; \quad \frac{dn}{n} = \frac{\sin\varepsilon\, d\varepsilon}{\cos\varepsilon}; \quad \log n + \text{Konst.} = -\log\cos\varepsilon.$$

Schafft man, unter Einführung einer neuen Konstanten c, die Logarithmen weg, so bleibt übrig: $c\,n = \sec \varepsilon$. In der Höhe h wird, wenn α den Ausdehnungskoeffizienten der Luft, t deren Temperaturabnahme pro Meter bedeutet, $n = 1 + k\,(1 + \alpha t h)$; man hat also, wenn man den zuletzt sehr klein gewordenen Sinus durch den Bogen ersetzt, und wenn noch für $\varepsilon = 0$, $n = 1 + k$ gesetzt wird,

$$\sec \varepsilon\,(1 + k) = 1 + k\,(1 + \alpha t h);\quad 2 \sin^2 {}^1\!/_2\,\varepsilon = k \alpha t h : (1 + k);\quad \varepsilon^2 = 2 k \alpha t h.$$

Unter r den Erdradius, unter x und y die laufenden Koordinaten verstehend, können wir $h = y + \frac{x^2}{2r}$, $\varepsilon = \frac{dh}{dx} = \frac{dy}{dx} + \frac{x}{r}$ setzen und bekommen so zum Schlusse:

$$\left(dy + \frac{x\,dx}{r}\right) : \sqrt{y + \frac{x^2}{2r}} = \sqrt{2 k \alpha t}\;.\;dx.$$

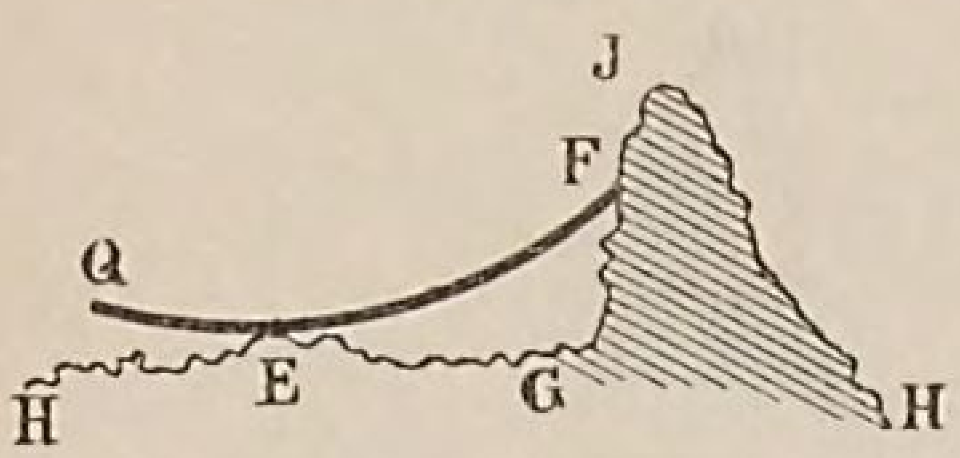
Der Quotient links ist bereits ein vollständiges Differential; man kann also beidseitig direkt integrieren und erhält:

$$2\sqrt{y + \frac{x^2}{2r}} = x\sqrt{2 k \alpha t},\ \text{resp.}\ 2h = k \alpha t x^2,$$

wenn man eine Verschiebung des Anfangspunktes vornimmt. Dies ist die Gleichung einer Parabel, deren Achse senkrecht auf dem Horizonte steht.

Die Gesamtheit aller dieser Parabeln, welche man zwischen zwei jenseits der obersten Grenzfläche gelegenen Punkten gespannt denken kann, wird eingehüllt durch die Grenzparabel, deren Gleichung Grunert [267] abgeleitet hat. Liegt das Auge diesseits dieser Kurve, so wird es von zwei aus dem Lichtpunkte kommenden Strahlen getroffen; liegt es auf der Kurve, nur noch von einem einzigen Strahle; liegt es endlich jenseits, so dringt kein Strahl mehr zu ihm. Das Trugbild der Wasserfläche erklärt sich durch eine einfache Betrachtung. Zu Ende des horizontalen Abschnittes HH (Fig. 25a) erhebe sich ein kleiner Berg GJ; die Grenzkurve ist hier identisch mit dem gekrümmten Strahle, der von F ausgeht, den Boden in E berührt und nach Q weiter geht. Das Auge Q kann den Boden nicht weiter als bis zum Berührungspunkte E verfolgen; der Raum EGF bleibt für Q unsichtbar, ohne dass doch dieses Auge in E das Ende des Gesichtskreises zu erkennen vermöchte, da ja in grösserer Entfernung noch der obere Teil FJ des Berges zu sehen ist. Weiter bemerkt aber Q in der entstandenen Lücke noch das Spiegelbild $F_1 J_1$ von FJ, welches in Gemässheit der in Fig. 25b angedeuteten Weise zu stande gekommen ist. Der psychophysische Eindruck muss demnach der sein, als befinde sich im Raume EGF eine das Licht zurückwerfende Wasserfläche. Zumal wenn die Bilder schwanken, wird die Ueberzeugung eine so lebhafte werden, dass auch der den eigentlichen Sachverhalt Kennende sich der Täuschung kaum zu entwinden vermag.

Fig. 25a.



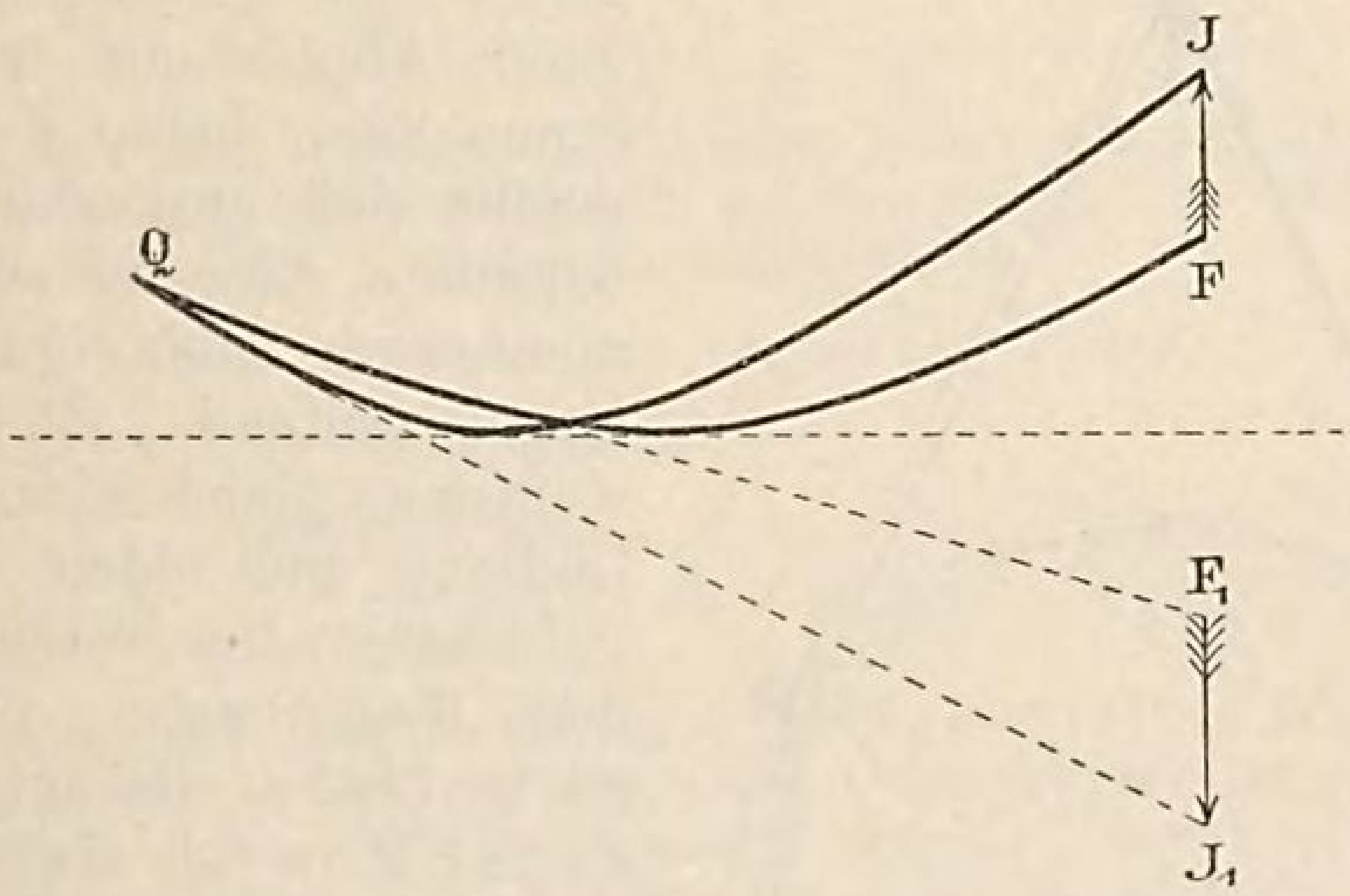
Wenn die Dichteverteilung nicht eine solche ist, wie wir sie soeben vorausgesetzt haben, so gestaltet sich natürlich auch die Art der Spiegelung anders. Es wird ein verkehrtes Spiegelbild in der Luft gesehen, über welchem dann das diesem entsprechende, thatsächlich also aufrecht stehende zweite Spiegelbild erscheint. Auch diesmal aber sind die Spiegelungsflächen horizontal. Grundsätzlich würde auch nichts im Wege stehen, dass die spiegelnde Fläche einen grösseren Winkel, bis zu 90^0, mit der Horizontalebene einschlösse, aber in der Praxis ist das wohl noch seltener, als die laterale Refraktion (S. 93).

Von Vince [268] und Scoresby [269] sind uns Beobachtungen der erstbezeichneten Art übermittelt; letzterer hebt hervor, dass in den Polarländern, dem klassischen Lande der meteorologischen Optik, phantastische Verzerrungen der

Spiegelbilder an der Tagesordnung seien, wofür Clausius [270] den Umstand verantwortlich machen will, dass die Wellenflächen sich in steter Oszillation befinden, wie dies ja auch kräftigeres Sternglitzern bedingen dürfte (S. 94). Von seitlicher Spiegelung ist wohl nur ein einziges Beispiel bekannt, welches J. Müller [271] nach Jurine und Soret beschreibt; die beiden Genfer Gelehrten sahen auf dem so viele Anregungen darbietenden heimischen See (I, S. 22) das Spiegelbild eines Schiffes neben diesem sich fortbewegen. Der Bergschatten fiel in den See hinaus, und so wurde eine südliche kühle von einer nördlichen warmen Luftbank durch eine distinkte Grenzfläche geschieden. Da also kann von echter Luftspiegelung die Rede sein.

§. 18. **Der Regenbogen.** Seit altgriechischer Zeit gehört der Regenbogen zu denjenigen Lufterscheinungen, deren Erklärung die Menschen am meisten beschäftigte, und mancher Fortschritt der theoretischen Optik führt sich auf diese Beschäftigung zurück. Schon das Mittelalter drang in der Erkenntnis weiter vor, bis mit Cartesius, Spinoza und Newton die prinzipielle Lösung der Hauptschwierigkeiten erbracht ward. Die geschichtlichen Arbeiten von Reclam [272] und Gnau [273]

Fig. 25 b.



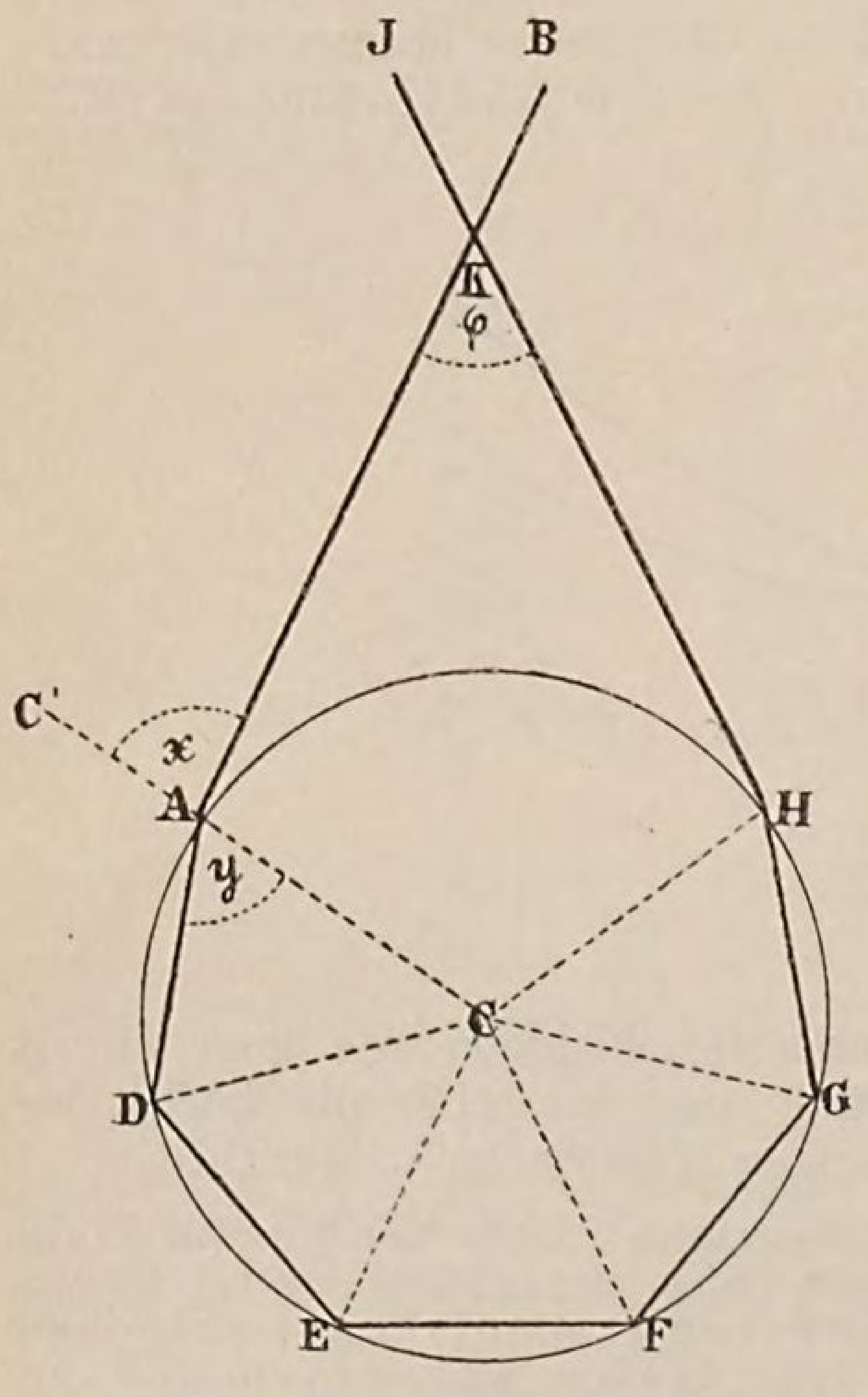
gewähren — neben den umfassenderen Geschichtswerken über Physik und speziell über Optik — die Mittel, um sich über die höchst belehrende Entwickelung einer schwierigen Theorie zu unterrichten.

Aristoteles legte, wie sein Kommentator Poske nachwies [274], den rein geometrischen Grund zu dieser Theorie, indem er zeigte, dass der Regenbogen als Durchschnitt der scheinbaren Himmelskugel mit einem geraden Kreiskegel anzusehen sei, dessen Achse den Sonnenmittelpunkt mit dem Auge des Beobachters verbindet. Die Ursache der Färbung verlegte Seneca [275] teils in die Sonne, teils auch in die Wolken, doch hielt er ebenso, wie sein Vorgänger, die Reflexion für die alleinige Ursache des Phänomenes. Dafür, dass auch die Lichtbrechung mitwirke, trat ein Mönch Theodorich von Freiberg in einer um 1310 niedergeschriebenen Schrift „De radialibus impressionibus et de iride" ein [276], und im XVI. Jahrhundert stellte Fleischer richtig fest [277], wieviel Spiegelungen und Brechungen zum gewöhnlichen Regenbogen nötig seien, meinte aber irrig, in einzelnen Tropfen werde das Licht nur gespiegelt, in anderen nur gebrochen. Experimentell verfolgte zuerst Antonio de Dominis den Weg eines Lichtstrahles durch eine mit Wasser gefüllte Glaskugel [278], um so ein Analogon des Regenbogens zu erhalten. Auch der Böhme Marek (Marcus Marci von Kronland) und der Italiener Grimaldi erkannten die Uebereinstimmung der Regenbogenfarben mit denen, welche sich bei prismatischer Brechung ergeben [279], allein noch immer war die entscheidende Frage ungelöst, die sich etwa so formulieren liess: Wenn wirklich Spiegelung und Zurückwerfung des Lichtes in den Tropfen

einer durchfeuchteten Luftschicht die Erscheinung des Regenbogens bewirken, weshalb erscheint nicht die ganze Regenwand, sondern nur ein schmaler Kreisring gefärbt? Die Antwort auf diese Frage erbrachte zuerst Cartesius [280], der sich freilich noch ohne die Hilfsmittel der höheren Analysis zu behelfen hatte und deshalb auf mühseligstem Wege einen Nachweis führen musste, der an sich völlig richtig war, den aber Newton [281] — und dessen Gedankengang werden auch wir reproduzieren müssen — auf wenige Zeilen zusammendrängen konnte. Dem Gedankengange Descartes schliesst sich die erst in unseren Tagen durch Bierens de Haan der Vergessenheit entrissene Studie des mit Problemen der höheren Optik auch anderweit [282] beschäftigten Philosophen Spinoza [283] an.

Der Regenbogen (Arcus coelestis, Arc-en-ciel, Rainbow, Iris oder Thaumantias, letzteren Namen trägt z. B. [s. o.] die manch gute Bemerkung enthaltende Schrift [284] von Marek) hat, wie schon Aristoteles (s. o.) wusste, stets genaue Kreisform; steht die Sonne über, im oder unter dem Horizonte, so ist der farbige Kreisbogen kleiner, gleich und grösser als 180°. Von einer Abplattung im eigentlichen Sinne kann keine Rede sein, doch macht sich immerhin die aus §. 2 bekannte Abweichung des Firmamentes von einer eigentlichen Halbkugel geltend [285]. Fast stets sieht man gleichzeitig einen ersten (hellen) und einen zweiten (abgeblassten, den ersten umschliessenden) Regenbogen; die Farbenfolge ist in beiden die entgegengesetzte. Jeder Mensch sieht nur seinen eigenen Regenbogen; perspektivisch verzerrten Anblick eines gewöhnlichen Regenbogens gibt es nicht, und die in viele Lehrbücher übergegangene Darstellung des Strahlenganges durch die Tropfen der wässerigen Schicht, welche wir kurz die Regenwand nennen wollen, ist immer unnatürlich. Wir werden jetzt generell den Gang eines irgendwie einfallenden Lichtstrahles durch eine Wasserkugel verfolgen und sodann die Bedingungen aufsuchen, unter denen die austretenden Strahlen die uns bekannte Farbenerscheinung hervorrufen können.

Fig. 26.



C (Fig. 26) ist der Mittelpunkt der aus durchsichtigem Stoffe bestehenden Kugel. Bei A tritt der Lichtstrahl BA ein, so dass C'A, die Verlängerung des Halbmessers CA, das Einfallslot bildet; ∢ BAC' = x ist der Einfalls-, ∢ CAD = y ist der Brechungswinkel, so dass, wenn n den Brechungsexponenten vorstellt, $\sin x = n \sin y$ sein muss. Der eingetretene Strahl möge von der inneren Wand viermal, in D, E, F und G, reflektiert werden; in H tritt er durch abermalige Lichtbrechung aus, so dass die neue Strahlenrichtung HJ den anfänglichen Strahl BA in K unter dem Winkel φ durchschneidet. Nur wenn dieser Winkel einen bestimmten, von der Anzahl m der vorgekommenen Spiegelungen

abhängigen Wert annimmt, zeigen sich die Farbenerscheinungen. Nachdem Cartesius durch den Versuch ermittelt hatte, dass, für $m = 1$, $\varphi = 42^0$ und, für $m = 2$, $\varphi = 52^0$ sein müsse, gab er sich die ungeheure Mühe, für 1000 Strahlen [286] die thatsächlichen Ablenkungen auszurechnen, so dass also Experiment und Rechnung übereinstimmten, ohne dass freilich noch der tiefere Grund der Uebereinstimmung ermittelt war. Diesen fand eben (s. o.) Newton auf. Aus den Grundlehren der von ihm ihrem Wesen nach erfassten, wenn auch noch nicht in bequeme Algorithmen gekleideten Differentialrechnung floss ihm folgende Erkenntnis zu: Die farbigen Lichtstrahlen, welche aus den Tropfen der Regenwand austreten, können nur dann dem Auge einen nachhaltigen Eindruck machen, wenn nach dem Austritte ein genügend grosser Bruchteil derselben in angenähert paralleler Richtung beisammen bleibt, und damit dies der Fall sein könne, muss der Ablenkungswinkel φ zum Minimum werden [287].

Zieht man in Fig. 26 die Radien CD, CE, CF, CG, CH, so hat man, dem bekannten Spiegelungsgesetze zufolge, die Thatsache, dass die Basiswinkel aller der so entstandenen gleichschenkligen Dreiecke einander gleich sind. Jeder ist gleich y. Ferner ist $\sphericalangle KAC = \sphericalangle KHC = \pi - x$. Wir wollen nun die Winkelsumme des von den Strahlenwegen gebildeten Polygones suchen, das in unserem Falle — bei 4 Reflexionen — ein Siebeneck, allgemein — bei m Reflexionen, ein $(m + 3)$ Eck ist. Die Winkelsumme eines solchen ist $(m + 1)\pi$; wir haben demnach die Gleichungen:

$$\varphi + 2(m + 1)y + 2(\pi - x) = (m + 1)\pi; \quad \varphi = (m - 1)\pi + 2x - 2(m + 1)y.$$

Zugleich ist $\sin x = n \sin y$; beide Gleichungen haben wir zu differentiieren und alsdann den Differentialquotienten $dy : dx$ zu eliminieren. So erhält man zur Berechnung der Winkel x und y zwei neue Gleichungen:

$$\sin x = n \sin y; \quad (m + 1)\cos x = n \cos y.$$

Daraus endlich folgen diese beiden Werte:

$$\sin x = \sqrt{\frac{(m+1)^2 - n^2}{m(m+2)}}, \quad \sin y = \frac{1}{n}\sqrt{\frac{(m+1)^2 - n^2}{m(m+2)}}.$$

Setzt man für rote und violette Strahlen die Newtonschen Werte $n = 108 : 81$ und $n = 109 : 81$ ein, so kann man für jedes x das zugehörige y_r, φ_r und y_v, φ_v finden. Die Breite eines Regenbogens würde, wenn die Sonne ein Lichtpunkt wäre, durch die Differenz $\pm(\varphi_r - \varphi_v)$ gegeben sein. Da aber die Sonnenscheibe einen Durchmesser von einem halben Grade hat, so tritt auf jeder Seite noch eine Zone von 15 bis 16 Bogenminuten hinzu.

Descartes hatte noch bestritten [288], dass es mehr als zwei Regenbogen geben könne. Aus unserer Theorie folgt dagegen, dass, da m an keine Grenze gebunden ist, unendlich viele verschiedene Regenbogen möglich sind; freilich geht schon, wenn $m = 2$ ist, viel Licht durch die Zurückwerfung verloren, und für $m \overline{\gtrless} 3$ ist die Lichtschwäche bereits eine so beträchtliche, dass keine deutliche Bogenbildung mehr zu stande kommt. Nur der dritte Regenbogen ist thatsächlich unter besonders günstigen Voraussetzungen wahrgenommen worden.

Die Angabe Radickes [289], dass der schwedische Naturforscher Bergmann den dritten Bogen gesehen habe [290], wurde vielfach angezweifelt, da in Wahrheit auch der angegebene sphärische Radius nicht recht mit der Rechnung stimmen wollte. Seitdem aber sind wir in den Besitz der Mitteilung [291] des bekannten Mathematikers Heilermann gekommen, und dieser ganz unverdächtige Zeuge hat das so seltene Phänomen am 4. September 1878 ganz am richtigen Platze, d. h. an der dem Regenbogen abgewandten, der Sonne benachbarten Seite des Himmels, gesehen. Für die Fälle $m = 3$ und $m = 4$ hat Czermak [292] die geometrischen Konstruktionen des Strahlenganges wirklich ausgeführt und den Ort, an welchem die entsprechenden Bogen sich zeigen müssen, bestimmt; der-

selbe befindet sich da, wo wir angegeben haben, und es muss sich, dem Autor zufolge, zwischen Beobachter und Sonne ebenfalls eine dünne Regenwand befinden, wenn — ganz abgesehen von der meist mangelnden Lichtstärke — diese Bogen sichtbar werden sollen.

§. 19. **Weitere Regenbogenprobleme.** Eine Fülle von Einzelfragen knüpft sich sowohl an die vorstehend gegebene Erklärung eines der schönsten Naturschauspiele, als auch an gewisse weitere Lufterscheinungen, welche mit jenem in naher Verbindung stehen. Es soll die Aufgabe dieses Paragraphen sein, die wichtigsten einschlägigen Aufgaben wenigstens ihrem Wesen nach zu kennzeichnen, wenn auch ihre erschöpfende Behandlung vielfach über die Grenzen eines Handbuches hinausgeht. Zunächst möge von jenen Farbenkreisen gesprochen werden, welche sich nicht selten im Sprühregen aufgewirbelter Wassermassen zeigen; derselbe ersetzt die für den eigentlichen Regenbogen das Substrat bildende Regenwand.

Begreiflicherweise können solche Bogen einem weitaus grösseren Zentriwinkel angehören, als er gewöhnlich beim wirklichen Regenbogen konstatiert wird. So sah Hirschberg [293] vom Aussichtshause am Niagarafalle aus einen fast geschlossenen Kreis von Farben in den über dem abstürzenden Wasser sich erhebenden Dampfsäulen. Eben derselbe Berichterstatter rühmt [294] die Mondklippe („Luna Island") an der Unionsseite des Falles, „so genannt wegen der herrlichen Mondregenbogen", die man von da aus zu sehen bekommt. Selbstredend kann auch der Mond Strahlungsbilder erzeugen, die nur naturgemäss bleicher als die von der Sonne herrührenden sein werden. Hennig sah [295] einen solchen im Riesengebirge, der eine volle halbe Stunde lang beobachtet werden konnte, und dessen Zentriwinkel etwa 170° umfasste. Auch der zweite Bogen war, „in blassem, milchichem Schimmer", zu erkennen, aber nur auf kurze Zeit.

Während der echte Regenbogen, wie wir wissen, stets genau kreisförmig erscheinen muss, können verwandte Luftbilder, die im Wasserstaube von Springbrunnen oder Mühlrädern entstehen, durch Projektion auf die Horizontalebene, indem sie also Horizontalregenbogen werden, irgend eine Kegelschnittgestalt — Ellipse, Parabel, Hyperbel — annehmen. Beobachtungen dieser Art von Langwith, Menzel u. a. haben Jak. Bernoulli [296], Webb [297] und Priestley [298] richtig interpretiert, und auch die eigentümlichen Regenbogen, welche im Spritzwasser lebhaft bewegter Meereswellen verzerrt gesehen werden [299], gehören in die hier geschilderte Kategorie der Projektionsphänomene.

Es gibt nach dem Gesagten ziemlich viele Möglichkeiten, dass Regenwände entstehen und auch wieder vergehen. Dann muss es aber auch möglich sein, Regenbogenerscheinungen künstlich nachzubilden. Das ist denn auch geschehen, und der Versuch bekräftigt bis ins einzelne, wenn dies noch notwendig wäre, die Richtigkeit der im §. 18 angestellten Ueberlegungen.

Die Idee, auf einer im Beobachtungsraume herzustellenden Tropfenwand den Regenbogen zu erzeugen, geht auf eine ziemlich ferne Vergangenheit zurück [300], aber praktischer Verwirklichung war sie erst in der Gegenwart fähig. Schon Roger Bacon dachte an Experimente, wie sie allerdings erst eine spätere Zeit ausführen konnte. Einer Anregung Babinets folgend, hat Hammerl [301] solche Versuche in grösserem Masse ausgeführt, indem er durch sogenannte Stäuber einen Teil des Laboratoriums mit fein verteilter Flüssigkeit erfüllte und nunmehr am Theodoliten, indem er zuerst die Sonne, hierauf die entstehenden Farbenringe anvisierte, die Ablenkungswinkel — das obige φ — direkt mass. Wasserstaub, Salmiaklösung, Weingeist, Petroleum und Terpentinöl wurden geprüft, und die Beobachtung stimmte recht gut zu den errechneten Werten. Flüssigkeiten freilich, wie Kupfervitriollösung u. dergl. in deren Spektrum gewisse Farben vollständig ausgelöscht erscheinen, konnten nur einen unvollkommenen oder einfarbigen Bogen liefern. Tyndalls nach dem gleichen Prinzipe vorgenommene Experimente [302]

ergaben ähnliche Resultate, indem nur noch bezüglich der zuletzt erwähnten Bogen ein weiteres Moment sich als einflussreich herausstellte.

Wir sind nämlich damit auf den sogenannten weissen Regenbogen geführt worden, ein absolut farbloses oder doch überaus farbenschwaches Lichtband, welches sich meist im Gebirge zeigt, wenn eine Nebelwand an die Stelle der uns bekannten Regenwand getreten ist. Aus älterer Zeit liegt v. Gersdorfs [303] Beobachtung eines solchen Nebelbogens vor. Die Theorie dieser Abart des gewöhnlichen Regenbogens hat Bravais [304] begründet und Tyndall [305] weiter ausgeführt.

Von einigen besonders schönen Beobachtungen des weissen Regenbogens berichtet Wimmenauer [306]. In dem wichtigsten Falle entschied nur die Lage des Bogens gegenüber der Sonne, dass der weisse Ring, der nur aussen, wie gewöhnlich, eine schwachrötliche Einfassung aufwies, nicht etwa eine anderweite Lichterscheinung war, wie sie später uns noch begegnen werden. Bravais hatte manche Eigentümlichkeit, die hier in Betracht kommt, richtig erkannt, doch hielt er an der Annahme fest, die spiegelnden und brechenden Wasserkugeln müssten hohle Bläschen mit dünner Wandung sein, und diese Annahme wies Tyndall als unstatthaft nach. Bravais glaubte, das Auftreten eines Nebelbogens sei, unter r den äusseren, unter ρ den inneren Halbmesser einer solchen Hohlkugel verstanden, an die Ungleichung $1{,}38\,\rho < r < 1{,}55\,\rho$ gebunden. Aus den Untersuchungen von Mascart [307] erhellt, dass bei ausreichender Kleinheit des Tropfendurchmessers immer weisse Regenbogen zu stande kommen.

Zu wiederholten Malen ist die Frage ventiliert worden, ob sich ein Regenbogen in einer Wasserfläche spiegeln könne. Man hat eine bejahende Antwort gegeben, allein es wird sich gleich ergeben, dass man den Prozess der Spiegelung sich nur als einen bedingt diesen Namen verdienenden vorzustellen habe. Dann ist auch weiter die Möglichkeit photographischer Abbildung eines Regenbogens in Betracht zu ziehen.

Es unterliegt keinem Zweifel, dass man gleichzeitig zwei Bogen — den einen am Himmel, den anderen im Wasser — sehen kann. Dies wird u. a. von Tyndall [308] festgestellt, der nur leugnet, dass es sich da um eine gewöhnliche Reflexionserscheinung handle. Einen beobachteten Fall der Abbildung des ersten und zweiten Regenbogens in Wasser führt München an [309], und in gleicher Weise hat H. Dufour [310] Erfahrungen über solche Vorkommnisse gesammelt. In Wirklichkeit sieht indessen das Auge nicht das wahre Spiegelbild des Bogens, sondern es ist dieses letztere das Bild eines anderen Regenbogens, dessen nämlich, den ein Auge sehen würde, das sich symmetrisch ebenso tief unter dem Wasser befände, als sich das wirkliche Auge darüber befindet. Jeder sich abspiegelnde Gegenstand, so hebt zutreffend Leyst [311] hervor, sendet seine Strahlen gleichmässig nach allen Seiten aus, während vom Regenbogen rote Strahlen nur nach einer bestimmten, blaue wieder nach einer anderen Richtung ausgehen. — Dagegen ist, einer früher geäusserten Meinung [312] entgegen, der Behauptung Czermaks [313] beizupflichten, dass an und für sich einer photographischen Aufnahme des Regenbogens nichts — als etwa hinreichende Lichtstärke — entgegensteht. Es ist nämlich derselbe eine reelle, nicht bloss subjektive Lichterscheinung, und dem menschlichen Auge kann die photographische Kamera substituiert werden.

Auf ein ganz anderes Gebiet sehen wir uns geführt, wenn wir die Erklärung jener eigenartigen Randerscheinung des gewöhnlichen Regenbogens in Angriff nehmen, welche bald aus ausserordentlicher, bald als überzähliger, mehrfacher, sekundärer und komplementärer Bogen in der Litteratur erscheint. An und für sich

sollte der erste Regenbogen nach aussen mit dem Rot, nach innen mit dem Violett abschliessen, aber es kommt eben auch vor, dass sich dem Violett nach aussen zu noch andere Farbensäume anreihen, in denen sich gewöhnlich die Reihenfolge der Farben des Hauptbogens wiederholt. Zumeist sind es nur kleine Segmente, doch konnte Bravais [314] einmal einen solchen komplementären Bogen bis herab zum Horizonte verfolgen.

Die erste sicher bezeugte Nachricht über diese Erscheinung haben wir aus dem ersten Viertel des XVIII. Jahrhunderts von Langwith [315]; spätere Berichte sind, wie Priestley meldet [316], von Bouguer und Le Gentil vorhanden, welch letzterer übrigens im sekundären Bogen das Blau vorwalten sah. Elfert [317] sah einmal einen solchen Nebenbogen, der im wesentlichen das prismatische Farbenspiel des grossen Bogens zeigte; nur wurden die langwelligsten Farben durch das Violett des letzteren überdeckt, unsichtbar gemacht. Der Verf. ist der Meinung, dass dieses Phänomen gerade nichts seltenes ist, da er selbst zum öfteren seiner ansichtig geworden ist; am schönsten stellte es sich ihm einmal in einem Hochthale Südtirols dar, als sich zwischen seinem Standpunkte und der sehr nahen Gebirgskette eine dünne Regenwolke befand.

Die Theorie der überzähligen Regenbogen ist schwierig, vielleicht die verwickelste von allen Theorien der meteorologischen Optik. Gewiss ist zunächst, dass die Tropfen, in denen sich die Farbenstrahlen des sekundären Bogens bilden, sehr klein sein müssen, denn je grösser sie sind, um so näher liegen die sekundären Lichtstellen unter sich und mit den primären zusammen, und zweitens muss auch die Uebereinstimmung dieser Tröpfchen in der Grösse eine sehr bedeutende sein, weil sonst die sekundären Lichtstellen nicht durch erkennbare Abstände getrennt wären, sondern allmählich ineinander übergehen müssten. Die Art der Entstehung aber ist noch nicht vollständig aufzuhellen gelungen.

Eine Erklärung versuchte zuerst Pemberton [318], der die Regenbogen mit den Newtonschen Farbenringen verglich, so dass also z. B. das Blau des Hauptbogens das Blau erster Ordnung (S. 100), das Blau des komplementären Bogens das Blau zweiter Ordnung u. s. w. wäre. In der That liegt ja wohl eine gewisse Analogie vor, allein da die Farben des Hauptbogens ganz gewiss ohne Zuhilfenahme der Interferenz sich erklären lassen, so muss das Gegenteil für deren Fortsetzung doch erst bewiesen werden (s. u.). Gegen Hellwags Hypothese [319], dass die Oberflächen der vom Lichte durchdrungenen Wasserkugeln sich in ständiger oszillierender Bewegung befänden, spricht der ruhige, wenn auch matte Schimmer des ausserordentlichen Bogens. Venturi geht [320] von der Annahme aus, dass die Tropfen sphäroidisch gestaltet seien (S. 34), und die mathematische Betrachtung von Brandes [321] lehrt, dass alsdann allerdings ein unter dem eigentlichen Regenbogen liegender Farbenbogen entstehen kann, aber nur dann, wenn die Exzentrizität der Meridianellipse dieser Tropfen einen ganz bestimmten Wert hat, und zudem würde aus der Rechnung ein — der Beobachtung widersprechender — freier Zwischenraum zwischen beiden Bogen sich ergeben. Auch die Bestrebungen [322], überzählige Regenbogen und Höfe unter den nämlichen Gesichtspunkt zu bringen, blieben erfolglos. Neuerdings hat sich die Ueberzeugung, dass man der Sache nur im Sinne der Undulationstheorie beikommen und einzig an Interferenzen denken könne, allgemein Bahn gebrochen; der alte Pemberton (s. o.) erscheint somit gerechtfertigt, indem seine Deutung des Vorganges nur einen etwas zu schematischen Charakter an sich getragen hatte.

Einer Hinweisung Th. Youngs Folge gebend, hat Airy [323] die Theorie erstmalig bis in die Einzelheiten durchgeführt, und Mascart [324] ist ihm darin nachgefolgt. Zunächst hat die Lehre vom Regenbogen, wie dies in §. 18 geschah, nur diejenigen Strahlen ins Auge zu fassen, welche den Ablenkungswinkel φ liefern, aber neben ihnen gibt es doch auch noch andere, und zwar lassen sich

zwei Gruppen von Strahlen unterscheiden, welche innerhalb des Tropfens verschiedene Wege verfolgen und dadurch zum Interferieren kommen. Es bilden sich so die uns dem Namen nach bekannten sekundären Lichtstellen heraus, welche Young, als Anhänger der Hypothese longitudinaler Lichtschwingungen an falsche, Airy an die richtigen Plätze verlegte, und denen die überzähligen, an Leuchtkraft selbstverständlich sehr zurückstehenden Regenbogen entsprechen. Die Winkelabstände dieser Orte vom sphärischen Zentrum haben Miller [325] und Galle [326] gemessen und in gutem Einklange mit Airys Rechnung gefunden; ersterer bediente sich eines künstlichen Regenbogens, während letzterer sich an die Naturvorgänge selber hielt. Aus den Untersuchungen von Mascart geht ferner auch hervor, bei welcher Tropfengrösse die Bedingungen für komplementäre Bogen am günstigsten gelagert sind. Es ist dies dann der Fall, wenn die Tropfen etwa 0,5 mm Durchmesser haben; wird der Durchmesser noch grösser, so können sich, den Gesetzen der Optik gemäss, überzählige Bogen an der Aussenseite des Hauptbogens bilden, doch kommen diese aus verschiedenen konkurrierenden Ursachen nur ganz selten zur Entwickelung.

§. 20. **Höfe und Lichtkränze am Himmel.** Im Einverständnis mit Clausius [327], sowie mit Sohncke [328], machen wir einen Unterschied zwischen eigentlichen Höfen, diffusen Lichtkreisen, welche sich um Sonne, Mond — und wohl auch um heller leuchtende Planeten — bilden, und Lichtkränzen oder Lichtringen, welche in grösserer Entfernung, und mit weit bestimmterer Belichtung, sich konzentrisch um die betreffenden Himmelskörper herumlegen, so dass zwischen ihnen und dem Gestirne selbst das dunkle Firmament sichtbar bleibt. Mitunter treten neben den genannten Lichtkreisen auch noch weitere auf, welche sich mit denselben in eigenartiger Weise durchkreuzen und deshalb eine besondere Besprechung erheischen. Das Wort Halo (ἅλως), welches von Aristoteles zuerst gebraucht wurde, bedeutet merkwürdige Lufterscheinungen überhaupt, die der Stagirit generell auf Zurückwerfung des Lichtes in Tropfen zurückgeführt sehen wollte [329]; er wusste zwischen jenen und den Regenbogen noch keinen eigentlichen Unterschied zu machen.

Wir beginnen mit den Höfen, welche seit den fundamentalen Untersuchungen Frauenhofers allseitig als eine Beugungserscheinung anerkannt und durch Exner als solche bestätigt wurden [330]. Es muss die Wolkenumgebung der Stelle des Himmelsgewölbes, auf die unser Auge den betreffenden Himmelskörper projiziert, schon eine gewisse Konsistenz besitzen, wenn ein Hof entstehen soll; je nach der Beschaffenheit der Wolke ist, wie Kämtz [331] bemerkte, auch das Aussehen des Hofes ein verschiedenes. Die Wasserteilchen, aus denen der Wolkenschleier besteht, wirken in ihrer Gesamtheit wie eine Vielzahl mehr oder weniger regelmässig angeordneter Spalten, wie ein sogenanntes Beugungsgitter; als ein solches wirkt beispielsweise jede gegen das Licht gehaltene Vogelfeder, und Schwerd [332] hat diese Farbenbilder zu sehr bemerkenswerten theoretischen Betrachtungen benützt. Die Farbenpracht ist eine um so grössere, je regelmässiger die beugenden Stellen aneinander liegen; ist deren Verstreuung über den erleuchteten Platz eine mehr willkürliche, so ist das Farbenspiel ein minder distinktes. „Man bestreue z. B.“, sagt Sohncke [333], „eine Glasplatte mit Semen Lycopodii (Bärlapp) oder behauche sie nur und schaue dann durch sie nach einer Kerzenflamme, so sieht man letztere von einem lebhaft gefärbten Hofe umgeben. Dünnes Gewölke vor dem Monde ist nun ein solcher Schirm, besetzt mit sehr vielen, wenig durchsichtigen Kügelchen, nämlich den Tröpfchen, welche die Wolken bilden. Sind diese sämtlich von gleicher Grösse, so beobachtet man einen prächtigen Hof um den Mond; sind sie an Grösse verschieden, so ist der Mond nur von einem hellen, nicht deutlich gefärbten Scheine umgeben. Je kleiner die Tröpfchen sind, um so grösser ist der Durchmesser der Farbenringe.“ Es versteht sich, dass an die Stelle des Mondes auch eine andere himmlische Lichtquelle von genügender Leuchtkraft treten kann; Sonnenhöfe sind nur schwieriger mit ungeschütztem Auge zu beobachten, und deshalb entstand die nach Clausius [334] irrige Meinung,

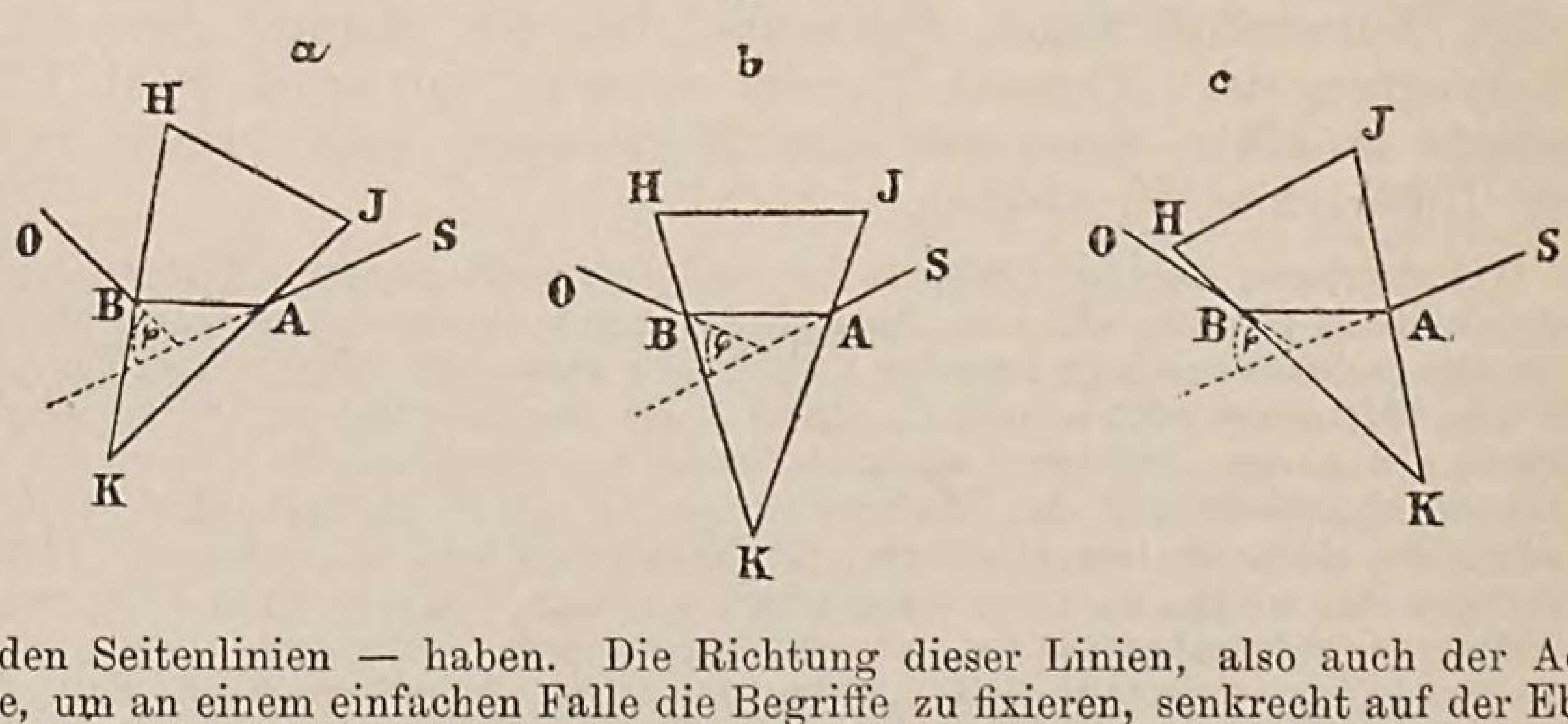
Mondhöfe seien die bei weitem häufigeren (s. u.). Von Kämtz [335] hat man einen auf der Rückseite geschwärzten Spiegel zu geeigneter Abblendung der Sonnenstrahlen und bequemerer Betrachtung der Höfe um das Tagesgestirn. Man kann auch die Grösse der Kugeln, welche Diffraktion und Interferenz der gebeugten Strahlen veranlassen, ermitteln, indem man mittelst des Sextanten oder auch mittelst des — von J. Müller [336] beschriebenen Stecknadelinstrumentes von Hagenbach-Bischoff — für eine bestimmte Farbe den sphärischen Radius des ihr zugehörigen Kreises im Hofe bestimmt.

Von den Lichtringen sind unstreitig diejenigen die merkwürdigsten, welche wir als Nebensonne (παρήλιος) und Nebenmond (παρασηλήνη) zu bezeichnen haben. Dieselben gehören aber, wie wir sehen werden, nur als ein besonderer Bestandteil in die Klasse der Lichtringe, und es wird also zunächst ganz allgemein von diesen zu sprechen sein.

Darüber, dass auch in der warmen Jahreszeit die höheren Luftregionen allenthalben mit schwebenden Eisnadeln angefüllt sind, kann man nach unseren Bemerkungen über die Cirruswolken (S. 32) nicht zweifelhaft sein. Mariotte, dem die Erklärung der Höfe missglücken musste, weil er nur mit der Erscheinung der Spiegelung und Brechung operieren konnte, traf bezüglich der Lichtringe das Richtige [337]: Hoch oben in der Luft schweben prismatische Eisnadeln, und beim Passieren dieser Prismen finden sich die Strahlen so zusammen, dass jene leuchtenden Luftbilder entstehen. Mit dieser Anschauung grundsätzlich übereinstimmend, haben Fraunhofer (s. o.), Galle [338] und Bravais [339] deren Theorie zu einem hohen Grade der Vollkommenheit gebracht.

Es ist mit Sicherheit zu vermuten, dass die Eisprismen entweder ein regelmässiges Dreieck oder ein regelmässiges Sechseck zum Querschnitte — senkrecht

Fig. 27.



auf den Seitenlinien — haben. Die Richtung dieser Linien, also auch der Achse möge, um an einem einfachen Falle die Begriffe zu fixieren, senkrecht auf der Ebene des einfallenden Parallelstrahlenbündels gedacht werden. In Fig. 27 a, b, c sind drei Stellungen des Querschnittes HJK abgebildet, während SA stets den einfallenden, BO den ausfahrenden Strahl und AB den Strahlenweg im Inneren des Prismas darstellt. Der Ablenkungswinkel φ ist in jeder der drei Zeichnungen ersichtlich gemacht, und es ist leicht zu sehen, dass die Stellung in b ein absolutes Minimum der Ablenkung ergibt, wie dies auch in allen Lehrbüchern der Physik durch geometrischen Beweis — man hat z. B. elegante geometrische Konstruktionen des Strahlenganges von Lommel [340], H. Vogt [341] und Kurz [342] — dargethan zu werden pflegt. Nunmehr können wir also Gebrauch machen von einem Schlusse ganz ähnlich dem, der uns schon in der Lehre vom Regenbogen geleitet hat: Liegen sehr viele Prismen ganz oder fast ganz so, dass beim Durchgange der Strahlen die kleinste Ablenkung erzielt wird, so werden nach der diesem speziellen Winkel φ entsprechenden Richtung sehr viele Strahlen gebrochen werden, und aus jenen Stellen des Firmamentes, deren sphärischer Abstand vom leuchtenden Körper den Wert φ hat, werden besonders viele Lichtstrahlen ins Auge gelangen; die Umgebung wird dorthin schon viel weniger Licht

entsenden, und von einer gewissen Grenze ab geht das Licht völlig am Beobachter vorbei. Es bedarf also, damit sich ein schmaler Lichtkranz bilde, lediglich einer solchen Anordnung der Eisprismen gegenüber den aus dem Weltraume kommenden Strahlen, wie wir sie soeben als notwendige und auch zureichende Bedingung kennen gelernt haben.

Wenn Ad. Schmidt [343] auf einer die Sonne verdeckenden Wolke gerade an der Stelle, an welcher erstere sich eben befinden musste, einen glänzenden regulär-sechseckigen Stern mit schwach gekrümmten Seiten und scharfen Ecken wahrnahm, so dürfte damit ebenfalls ein unzweifelhafter Beleg für das Vorhandensein sechseckiger Prismen in der höheren Atmosphäre gegeben sein. Es muss aber dann auch möglich sein, Ringe künstlich zu erzeugen, und das ist denn auch Cornu [344] gelungen, indem er Alaunkrystalle in einer Flüssigkeit von gleichem spezifischem Gewichte zum freien Schweben brachte und nun Licht durch die Flüssigkeit hindurchgehen liess. Die Ringe, welche er erhielt, entsprachen der Theorie, indem ihre Halbmesser bezüglich 46° und 22° Durchmesser aufwiesen. Es verlohnt wohl auch der Mühe, zuzusehen, ob im Auftreten der Halophänomene eine gewisse Gesetzmässigkeit sich offenbare, wie denn K. Fritsch [345] frühzeitig schon eine tägliche und eine jährliche Periode erkennen zu können vermeinte. Zumal die letztere ist von Hellmann [346] an der Hand der in Upsala, New York und in japanischen Stationen angeführten Beobachtungen unzweideutig erwiesen worden; vorab in Japan war die Anzahl der Sonnenringe um vieles grösser, als diejenige der Mondringe.

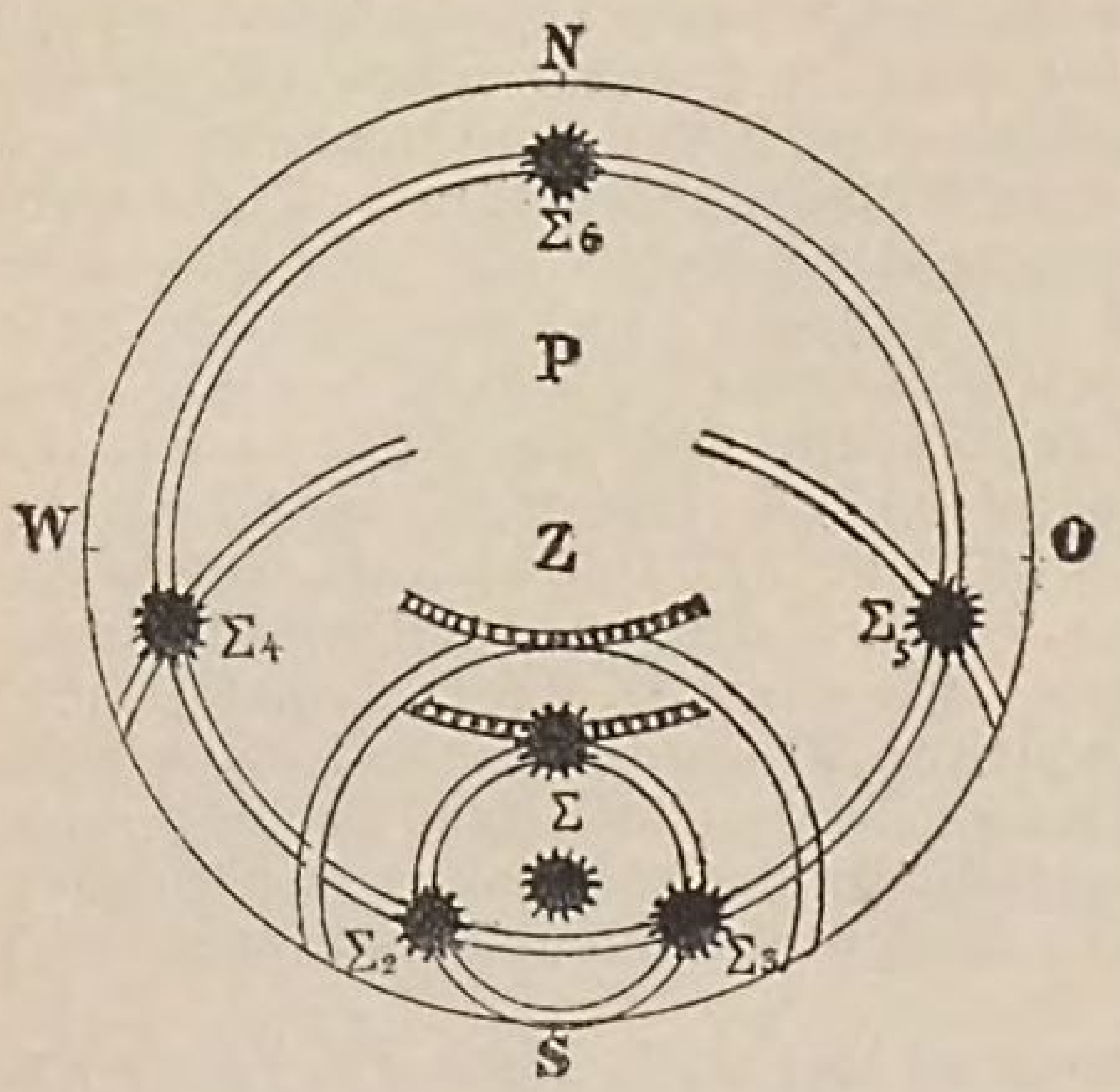
Eine Beobachtung Whitneys [347] verdient hier auch angemerkt zu werden. Er fand über einem glänzenden Schneefelde zum öfteren Lichterscheinungen auf, die er, da auch die charakteristischen Winkel von 22° und 46° gemessen wurden, auf die Brechung des diffusen Himmelslichtes in Schneekrystallen zurückführte. Es läge mithin ein Analogon mit der Brechung des Sonnen- oder Mondlichtes im Inneren der Eiskrystalle in Mitte.

Die verwickelten Lichterscheinungen, welche in Verbindung mit den gewöhnlichen Nebensonnen gelegentlich auftreten, können zumeist nicht in allen ihren Details erklärt werden. Sehr häufig sieht man, einfach deshalb, weil feine Nadeln dortselbst die ganze Atmosphäre unausgesetzt durchschwärmen, solche zusammengesetzte Halos in den Polargegenden, wofür sich Beispiele in Menge beibringen lassen. Der doppelte Sonnenring ist im Polarwinter der stete Begleiter der Sonne [348], und gar oft treten überraschende Ergänzungen hinzu, deren u. a. Bessels [349] und Nansen [350] gedenken. Die erhöhte Helligkeit einzelner Stellen und die bogenförmigen Ansätze werden durch die Erwägung wohl begreiflich, dass unter den zahllosen Eisprismen doch gewisse, in ihrer Lage durch den Luftwiderstand bestimmte Gruppen mit bestimmten Achsenrichtungen vorwiegen, und so leuchtet auch ein, dass zwei zum leuchtenden Körper symmetrisch auf beiden Seiten gelegene Stellen an Lichtkraft den übrigen Ring übertreffen. Damit ist dann von selbst die Herausbildung der eigentlichen Nebensonnen und Nebenmonde eingeleitet.

Einige besonders ausgezeichnete Lichterscheinungen sind als Römisches, Danziger und Petersburger Phänomen bekannt; beschrieben wurden sie von Scheiner [351], Hevelius [352] und Lowitz [353], und Kuhse [354] hat die wichtigsten Punkte dieser oft fast abenteuerlichen Schilderungen zusammengestellt. Als gleichberechtigt dürfen wir wohl das dem XVI. Jahrhundert angehörige württembergische Phänomen [355] betrachten und ebenso das istrische, das in der neuesten Zeit gesehen wurde und durch v. Kalmars Mitteilung [356] bekannt geworden ist. In Fig. 28 ist das Petersburger Phänomen abgebildet, dem das istrische nur hinsichtlich der zahlreichen falschen Sonnen, keineswegs aber hinsichtlich der zahlreichen Licht- und Farbenbänder nachsteht. Z ist das Zenit; S, N, O, W sind die vier Kardinalpunkte des Horizontes; P ist der nördliche Himmelspol, Σ der Ort der — gerade kulminierenden — Sonne; dazu kommen

dann noch die durch den Buchstaben Σ mit fortlaufendem Index gekennzeichneten falschen Sonnen. Der innerste Kreis von 23° Radius und der dem Horizonte parallele Kreis sind nach Kuhse [357] allen den verschiedenen Erscheinungen gemeinsam; letzterer, der deshalb auch direkt Nebensonnenkreis zubenannt wurde, wird von Clausius (s. o.) und Galle (s. o.) als eine einfache Reflexionserscheinung aufgefasst.

Fig. 28.



Die uns geläufige Eisnadeltheorie vermag im grossen und ganzen allen diesen sonderbaren Luftgebilden gerecht zu werden, obschon natürlich nicht jede Einzelheit vollkommen zu erklären ist. Die beiden charakteristischen, immer wieder hervortretenden Winkel von 23° und 46—47° tragen ihre Begründung in sich selbst; denn sie gehören als Maxima der Ablenkung resp. zu brechenden Winkeln von 90° und 60°. Ob man nicht auch mit Galle (s. o.) daran zu denken hätte, dass den sechskantigen Eissäulchen nach oben und unten regelmässige Pyramiden von gleicher Kantenzahl aufgesetzt seien, möge dahingestellt bleiben; die öfter bezeugte Thatsache des Vorkommens elliptischer Halos würde vielleicht darauf hindeuten. Aepinus spricht [358] von einem solchen, durch Huygens, D. Cassini und Newton beglaubigten Phänomen, bei welchem die Hauptachse der sphärischen Lichtellipse senkrecht auf dem Horizonte stand, und ebenso beschreibt Thirion [359] einen Sonnenring von elliptischer Gestalt, der im Mai 1886 zu Löwen beobachtet wurde.

Die ab und zu wahrgenommenen Lichtsäulen, welche von einem hell leuchtenden Himmelskörper aus über einen grösseren Teil des Firmamentes sich erstrecken, sind aller Wahrscheinlichkeit nach nichts anderes als unvollkommene Lichtringe. Man hat solche Säulen, die also auch den Halos beigezählt werden müssen, sowohl an der Sonne als auch am Monde gesehen. Auch in Verbindung mit Feuersbrünsten sind sie beobachtet worden.

Ob eine Wahrnehmung Gerlings [360] hierher gehört, ist zweifelhaft; man könnte auch an stark ausgesprochene Dämmerungsstrahlen (§. 9) in einer mit Höhenrauch erfüllten Atmosphäre denken. Aber Holetschek [361] und Busch [362] sahen eine schlanke Lichtsäule sich über die noch nicht aufgegangene Sonne erheben, deren Basis etwa $^3/_4$° betrug, und die ungefähr 6500 m über dem Boden schwebte. Eine oben ziemlich helle, senkrecht auf der Mondscheibe stehende Lichtsäule konnte Körber am 4. September 1889 in Berlin konstatieren [363]. Wenn ferner Hevelius (s. o.) berichtet, er habe einmal den Mond als Zentrum eines „grossen silberfarbenen Kreuzes“ gesehen, so ist wohl auch an Lichtsäulen zu denken, wie sich ja auch nach des Eusebius „Vita Constantini“ dem letzteren vor der Schlacht an der milvischen Brücke ein schimmerndes Kreuz in den Wolken („ὑποκείμενον τοῦ ἡλίου σταυροῦ τρόπαιον“) gezeigt haben soll. Für die durch Brände erzeugten Halos berufen wir uns auf die klassischen Zeugnisse von Bessel [364], Dulk [365] und Galle [366].

§. 21. **Irdische Nebelbilder.** Es gibt auch noch ausser den bereits erörterten noch gar manche weitere Lichterscheinung in der Atmosphäre, welche die Aufmerksamkeit des Geophysikers auf sich zieht. Es soll hier noch eine kleine Nachlese gehalten und insbesondere zwei Gattungen von Phänomenen ihr Recht werden, welche man als Aureolen bezeichnen kann.

In die erstere Kategorie versetzen wir die durch K. Exner [367] eingehend studierte Thatsache, dass die schmale Lichtsichel, welche bei Verfinsterungen der

Sonne unmittelbar vor Beginn der Totalität sichtbar ist, sich dem beobachtenden Auge in eine Perlenschnur, dem bekannten Rosenkranze vergleichbar, aufzulösen scheint. Des ferneren ist anzuführen ein im Hochgebirge mehrfach wahrgenommenes Phänomen, über welches Mitteilungen [368] von Necker de Saussure, Breitenlohner und namentlich von Folie vorliegen. Bei einer gewissen Höhe der Sonne erstrahlten alle oder doch die meisten Objekte in silbernem Glanze; durch denselben hob sich ein über ein Schneefeld hinwegfliegender Vogel sogar ganz deutlich von diesem ab. Nadelholzbäume erschienen, mitten im Sommer, von hellem Rauhfrost belegt. Bei höher steigender Sonne verlor sich der Glanz, der mutmasslich durch eine — freilich noch nicht genug ergründete — Beugung des Lichtes bedingt war.

Ein heller Lichtschein, häufig farblos, aber noch häufiger prismatisch gefärbt, umgibt in vielen Fällen den auf wolkigen Hintergrund projizierten Schatten eines Gegenstandes. Jedem Luftschiffer wohlbekannt ist die farbige Glorie, welche den Schatten des Ballons und der Gondel, samt den Umrissen der in dieser sitzenden Personen, zu umgeben pflegt [369]. Nächst der Wolkenaureole ist aber auch diejenige bemerkenswert, welche sich auf betauten Wiesen zeigt und im Volksmunde als Heiligenschein bekannt ist.

Die erstgenannte Erscheinung wurde früher zumeist mit dem Namen der Zirkel Ulloas bezeichnet, weil dieser spanische Gelehrte (I, S. 152), als er mit Bouguer Bergbesteigungen in den Anden unternahm, sie gewahrte; die von letzterem gegebene Beschreibung hat uns Fraunhofer [370] verdeutscht. Beide Reisende sahen vor sich in den Wolken ihren Schatten, d. h. jeder nur den eigenen und nicht den des Begleiters, und zwar legte sich um jeden Kopfschatten ein Ring herum, in welchem vier Farbenkreise, bezüglich von 5^0 bis 17^0 sphärischem Durchmesser deutlich zu unterscheiden waren, um die herum noch ein grösserer, weisser Kreis von 67^0 Durchmesser zu sehen war. Aehnliche Lichtringe sind bei verschiedenen Anlässen wahrgenommen worden, so insonderheit von Scoresby in den Polarregionen [371]. Allmählich überzeugte man sich, dass es mit diesen Schattenbildern die gleiche Bewandtnis habe, wie mit dem sogenannten Brockengespenste, dessen erste genauere Schilderung Silberschlag [372] bei Gelegenheit der Beschreibung einer Harzreise gab. Man sieht — und zwar kann dies bei jedem Ausblicke von einem in Nebel gehüllten Höhenpunkte sich ereignen — auf den Wolken den gigantischen, alle Bewegungen mitmachenden Schattenriss des eigenen Körpers; der Kopf zumal tritt in mächtigen Dimensionen hervor, und ein in den Farben des Regenbogens spielender Lichtring ist eine — allerdings durchaus nicht notwendige — Begleiterscheinung. Würde als Projektionsfläche eine feste Wand dienen, welche das Licht diffus zu zerstreuen vermag, so würde die Erscheinung auch den Nebenstehenden sichtbar sein; die Tröpfchenwand aber sendet nur gewisse Strahlen, nämlich die nahe dem Mittelpunkte der einzelnen Wasserkugeln einfallenden, nach stattgehabter Reflexion in der ursprünglichen Richtung zurück, und so sieht der Beobachter nur diejenigen Strahlen unzerstreut zurückkehren, welche zuvor nahe an seinem Kopfe vorübergegangen waren. Damit ist erklärt [373], dass jedermann nur den eigenen Schatten und die eigene Aureole zu erkennen vermag. Die ungeheuerliche Vergrösserung des Nebelbildes ist in Wirklichkeit nicht vorhanden und beruht, wie Lommel hervorhob [374], auf einer Gesichts- oder richtiger auf einer Urteilstäuschung, stellt sich also weniger unter die optisch-meteorologischen als unter die psychophysischen Probleme.

Fraunhofers (s. o.) Identifizierung der Glorienscheine mit Beugungsbildern kann selbst dann, wenn man auf die von Clausius [375] gelieferte Ergänzung gebührende Rücksicht nimmt, nicht als voll befriedigend hingenommen werden; es ist, wie Aug. Schmidt [376] betont, nicht einzusehen, wie Diffraktion zu stande kommen soll, wenn der Beobachter die Sonne im Rücken und die Nebelbilder vor sich hat. Es hat vielmehr eine grundsätzlich verschiedene Auffassung Platz zu greifen, in der sich der Hauptsache nach, und zwar in gegenseitiger Unabhängigkeit, Schmidt und Heim [377] vereinigen. Lichtbeugung darf im allgemeinen nicht zur Erklärung herangezogen werden; vielmehr reichen Reflexion und Refraktion völlig aus, weil die Nebelbilder teils für echte Regenbogen, teils für Halos zu erachten sind. Der

äussere weisse Ring ist ein weisser Regenbogen im Sinne von Bravais (S. 123); wenn in seltenen Fällen einmal noch ein weiterer, weisslicher Ring sichtbar wird, so ist auf ihn dieselbe Erklärung auszudehnen. Der konzentrischen Farbenringe sind es nach Heim gewöhnlich drei, deren Durchmesser von ihm mit 6°, 11° und 17° bestimmt wurden. Sämtliche Farbenringe können sich nur dann bilden, wenn die Nebeltröpfchen sämtlich von annähernd gleicher Grösse sind. Der Versuch, Nebelbilder zu photographieren, ist bislang nicht gelungen, wiewohl an und für sich — so wenig wie beim Regenbogen (S. 123) — nicht aussichtslos.

Dem gegenüber mag erwähnt werden, dass eine gewiss merkwürdige Festhaltung von Spiegelbildern im Regen durch den photographischen Apparat wenigstens in einem Falle geglückt ist. Am Schlusse eines auch sonst manch wissenswertes Material für unsere Spezialdisziplin enthaltenden Aufsatzes [378] erzählt Fugger, dass zwei ihm bekannte Damen bei drohendem Regen eine Aufnahme der ihnen vorliegenden Landschaft — im salzburgischen Pongau — machten. „Als es wieder zu regnen aufgehört hatte, wurde der Apparat nochmals eingestellt; doch während der Aufnahme fing es auf der Seite des aufzunehmenden Objektes wieder leicht zu regnen an, während der Apparat noch im Trockenen stand. Als dann später das Bild hervorgerufen wurde, erschienen oben auf demselben zwei Kopfbilder . . .“ Die Regenwand hatte wie ein Spiegel gewirkt, und die Abbildung der Köpfe der beiden photographierenden Damen war die Folge.

Ebenfalls eine auf Spiegelung und Brechung beruhende Erscheinung ist der Heiligenschein, der namentlich dann kräftig zu Tage tritt, wenn Tauperlen an rauhen Pflanzenblättern haften; Regentropfen liefern kein so vollkommenes Farbenbild [379]. Es kommt wohl auch vor, dass ein mehr diffuser Lichtschein auch auf trockenem, unebenem Erdboden sich abzeichnet, aber dann hat man es bloss mit einer Kontrastwirkung zu thun, wie dies schon v. Winterfeld [380] zutreffend bemerkte. Die Farbenphänomene aber haben selbstverständlich einen tieferen optischen Grund.

Auch an ihnen versuchte sich v. Winterfeld [381], aber da er bloss die Reflexion zu Hilfe nahm, so konnte eine wirkliche Erklärung nicht herauskommen. Auch Brandes [382] drang zu einer solchen nicht durch; diese gegeben zu haben, war ein Verdienst Lommels [383], der den Vorgang nach ganz denselben Regeln zergliederte, welche auch für das von B. Prevost [384] erforschte Augenleuchten mancher Tiere, z. B. der Katzen, massgebend sind. Durch jeden Wassertropfen, der auf einem Halme oder Blatte liegt, gehen die Strahlen der Sonne hindurch, und zwar wird im allgemeinen eine viermalige Brechung und eine einmalige, diffuse Zurückwerfung sich ergeben. Auf der Unterlage entsteht ein doppeltes Bildchen, sowohl von der Sonne als auch von der Pupille des Beschauers. Je näher sich die Tropfen an der Schattengrenze befinden, um so vollkommener ist die Koinzidenz der beiden Bilder; hier ist also der Lichtglanz der stärkste, während die entfernteren Tröpfchen, für welche die Bilder nicht zusammenfallen, auch dunkler bleiben.

Je grösser der Einfallswinkel der Sonnenstrahlen ist, um so weniger günstig gestalten sich die Verhältnisse für die Klarheit des Heiligenscheines; auch scheint nebelige Beschaffenheit der Luft unterstützend zu wirken, und ebenso dürfte die Natur des pflanzlichen Substrates nicht ohne allen Einfluss sein. Verf. sah unter den angegebenen Umständen bei einer Wanderung in den bayerischen Alpen die farbige Aureole um den Kopfschatten in so ausserordentlicher Schönheit, wie er es nach den Beschreibungen kaum zu erwarten gewagt hätte, und zwar war es ein Kleeacker, dessen Taubedeckung das Bild hervorrief. Einer von Fugger [385] citierten Beobachtung Petters zufolge kommt auch einiges auf den Winkel an, welchen die Gesichtslinie mit der Fläche einschliesst, auf welcher der Heiligenschein zu stande kommt. Der letztere wird um so heller, unter je schieferem Winkel der Beobachter nach jener Fläche blickt, und wenn dieser Neigungswinkel durch Senken des Hauptes vergrössert wurde, so büsste der Lichtkranz an Helligkeit ein.

[1] Grunert, Beiträge zur meteorologischen Optik und zu verwandten Wissenschaften, Leipzig 1848—50. — [2] Flammarion, L'astronomie populaire et les comètes au temps d'Ambroise Paré et de Charles IX., L. A., 1882, S. 339 ff. — [3] Treiber, De figura et colore coeli apparente, Jena 1672. — [4] Rob. Smith-Kästner, Lehrbegriff der Optik, Altenburg 1755, S. 57. — [5] Rob. Smith-Pezenas, Cours complet d'optique, I, Paris-Avignon 1767, S. 161 ff. — [6] Reimann, Beiträge zur Bestimmung der Gestalt des scheinbaren Himmelsgewölbes, Hirschberg i. Sch. 1890; Weitere Beiträge zur Bestimmung der Gestalt des scheinbaren Himmelsgewölbes, ebenda 1891. — [7] Ekama, Ein Beitrag zur Bestimmung der Gestalt des scheinbaren Himmelsgewölbes, M. Z., XIII, S. 444. — [8] M. Cantor, Lionardo da Vinci, W. M. 1878, S. 378. — [9] Dreher, Die Luftperspektive, Ntr., XLIV, S. 13 ff. — [10] Weyer, Zeit- und Ortsbestimmung, A. E. P., I, Leipzig 1869, S. 685 ff. — [11] Reimann, Die scheinbare Grösse der Sonne am Horizonte, M. Z., XIII, S. 468 ff. — [12] Bruhns, Die astronomische Strahlenbrechung in ihrer historischen Entwicklung, Leipzig 1861. — [13] Cleomedis, De motu circulari corporum coelestium libri duo, ed. H. Ziegler, Leipzig 1891, S. 219 ff. — [14] R. Wolf, Geschichte der Astronomie, München 1877, S. 152; A. v. Humboldt, Recueil d'observations astronomiques, I, Paris 1808, S. LXV ff. — [15] Poggendorff, Geschichte der Physik, Leipzig 1879, S. 74 ff., 90 ff. — [16] G. Vossius, De universae matheseos natura et constitutione liber, Amsterdam 1650, S. 185; Doppelmayr, Historische Nachricht von den Nürnberger Mathematicis und Künstlern, Nürnberg 1730, S. 25. — [17] Rosenberger, Geschichte der Physik, II, Braunschweig 1884, S. 42 ff.; K. O. O., II, S. 218 ff. — [18] R. Wolf, S. 161. — [19] Rosenberger, II, S. 70; Heller, Geschichte der Physik von Aristoteles bis auf die neueste Zeit, II, Stuttgart 1884, S. 63 ff.; P. Kramer, Descartes und das Brechungsgesetz des Lichtes, A. G. M., IV, Leipzig 1882. — [20] Grunert, Ueber die atmosphärische, vorzüglich die terrestrische Refraktion und über Refraktionskurven im allgemeinen, A. M. P., X, S. 10 ff. — [21] Laplace, Traité de mécanique céleste, IV, Paris 1805, S. 246. — [22] Kramp, Analyse des réfractions astronomiques et terrestres, Strassburg i. E. 1798. — [23] v. Bauernfeind, Die atmosphärische Strahlenbrechung auf Grund einer neuen Aufstellung über die Konstitution der Atmosphäre, A. N., Nr. 1478—1480, Nr. 1578—1590. — [24] Bessel, Tafeln zur Reduktion der Oerter der Fixsterne, A. N., I, S. 49 ff. — [25] Simpson, Mathematical Dissertations, London 1743, S. 46 ff. — [26] Lalande, Astronomie, II, Paris 1792, S. 531. — [27] Hennert, Ueber die astronomische Strahlenbrechung, A. r. a. M., II, S. 4. — [28] Weyer, S. 666. — [29] v. Bauernfeind, Ergebnisse aus Beobachtungen der terrestrischen Refraktion, I, München 1880. — [30] Ambronn, Beitrag zur Bestimmung der Refraktionskonstante, A. A. D. S., IX, Nr. 3. — [31] Huygens, Traité de la lumière, ed. v. Lommel, Leipzig 1890, S. 46. — [32] Birnbaum, Grundzüge der astronomischen Geographie, Leipzig 1863, S. 14. — [33] Sabler, Beobachtungen über die irdische Strahlenbrechung und über die Gesetze der Veränderung derselben, Dorpat 1839. — [34] Lingg, Eine märchenhafte Veränderung der Szenerie in der Natur, B. A. Z., 1888, Nr. 263, 264. — [35] Lingg, Ueber die bei Kimmbeobachtungen am Starnberger-See wahrgenommenen Refraktionserscheinungen, N. A. L. K. A., LV, Nr. 1. — [36] Hartl, Ueber den Zusammenhang der Strahlenbrechung mit den meteorologischen Elementen, Z. ö. G. M., XVI, S. 112 ff.; W. Jordan, Handbuch der Vermessungskunde, II, Stuttgart 1893, S. 513 ff. — [37] Th. v. Oppolzer, Ueber den Zusammenhang der Refraktion mit der Temperaturverteilung in der Atmosphäre, Wien 1884. — [38] Gyldén, Untersuchungen über die Konstitution der Atmosphäre und über die Strahlenbrechung in derselben, St. Petersburg 1866—68. — [39] Harzer, Untersuchung über die astronomische Strahlenbrechung auf Grund der Differentialgleichungen der elastischen Lichtbewegungen in der Atmosphäre, A. N., Nr. 2477; Nr. 2554—56. — [40] Kerber, Die astronomische Refraktion als Funktion der meteorologischen Elemente, A. N., Nr. 2494—95. — [41] O. Bonnet, Théorie de la réfraction astronomique, Paris 1888. — [42] J. Maurer, Die Extinktion des Fixsternlichtes in ihrer Beziehung zur astronomischen Refraktion, Zürich 1882. — [43] Günther, Historische Notizen über die Lateralrefraktion, S. p. m. S. E., 11. Mai 1874. — [44] F. Pfaff, Beobachtungen über Lateralrefraktion, S. A. M., M. P., 1872, S. 147 ff. — [45] Sonderhof, Die geodätischen Korrektionen der auf dem Sphäroide beobachteten Horizontalwinkel, A. M. P., L, S. 40 ff. — [46] A. Fischer, Der Einfluss der Lateralrefraktion auf das Messen der Höhenwinkel, Berlin 1882. — [47] v. Bauernfeind, Ergebnisse etc., I, S. 48 ff. — [48] Humboldt, Kosmos, III, S. 45 ff. — [49] Ebenda, III, S. 47, 78 ff. — [50] Arago-Humboldt, Des causes de la scintillation des étoiles, Voyage aux régions équinoxiales du nouveau continent fait en 1799—1804, I, Paris 1799, S. 623 ff. — [51] Montigny, Sur la scintillation, Brüssel 1856; Nouvelles recherches sur la fréquence de la scintillation des étoiles dans le rapport avec la constitution de leur lumière, M., (2) XXXVI, S. 75 ff. — [52] K. Exner, Ueber das Funkeln der Sterne und die Szintillation überhaupt, Wien 1882. — [53] Ch. Dufour, Sur la scintillation des étoiles, B. U., XXXII, S. 30 ff. — [54] Pernter, Szintillometerbeobachtungen auf dem hohen Sonnblick im Februar 1888, R. E., XXV, S. 247 ff. — [55] Montigny, Influence des bourrasques sur la scintillation des étoiles, B. A. B., (3) XIV, S. 711 ff. — [56] Ventosa, La direction des vents supérieurs déterminée par les ondolations du bord des astres, Antwerpen 1895. — [57] K. Exner, Windrichtung und Szintillation, M. Z., XIII, S. 401 ff. — [58] Steifensand, Das Funkeln der Sterne eine subjektive Gesichtserscheinung, A. P. C., LV, S. 131 ff. — [59] Poggendorff, Zusatz hiezu, A. P. C., LV, S. 139 ff. — [60] Humboldt, Kosmos, III, S. 51 ff. — [61] Schweizer, Ueber das Sternschwanken, Moskau 1858. — [62] Dammer, Sternschwanken, H., VII, S. 352. — [63] Weyer, Das Schwanken der Sterne, A. N., CXIV, Sp. 143 ff. — [64] Humboldt, Kosmos, III, S. 46. — [65] Kazwîni-Ethé, Kosmographie, I, S. 63. — [66] Lichtenberg, Ueber meteorologische Gegenstände, Phys. u. Math. Schriften, herausgeg. von Kries, IV, Göttingen 1806, S. 330. — [67] Saussure, Description d'un diaphanomètre, M. A. T., IV, S. 425 ff. — [68] Bouguer, Essai d'optique sur la gradation de la lumière, Paris 1829, S. 63 ff. — [69] A. u. H. Schlagintweit, Durchsichtigkeit der Atmosphäre und Farbe des Himmels in grösseren Höhen in den Alpen, A. P. C., LXXXIV, S. 340 ff. — [70] Carstaedt, Ueber die Abnahme der Lichtstärke mit dem Quadrate der Entfernung, A. P. C., CL, S. 559 ff. — [71] Ritchie, On a new Photometer to determine the relative Intensities of Artificial Light, P. T., 1825, S. 141 ff. — [72] J. Müller, Lehrbuch der kosmischen Physik, Braunschweig 1875, S. 387 ff. — [73] Wild, Ueber ein neues Photometer und Polarimeter, A. P. C., IC, S. 235 ff. — [74] Lippich, Ueber polaristrobometrische Methoden, Wien 1884. — [75] Olearius (Olivarius), Moskovische und persische Reisebeschreibung, Schleswig 1647, Cap. VII. — [76] Humboldt, Kosmos, III, S. 48. — [77] Glan, Die Durchsichtigkeit der Luft Berlins, M. Z., X, S. 474 ff. — [78] Meidinger, Die Durchsichtigkeit der Luft im Hinblicke auf Fernsichten, V. N. V. K., XI. — [79] Schultheiss, Ueber die Durchsichtigkeit höherer Luftschichten nach den Beobachtungen der Alpenaussicht im südlichen Schwarzwald, M. Z., XIII, S. 445 ff. — [80] Saussure, Voyages dans les Alpes, II, Neuchatel 1779, S. 199. — [81] Reimann, Sichtbarkeit der Sterne bei Tage, M. Z., X, S. 479. — [82] Humboldt, Kosmos, III, S. 50. — [83] Günther, Das gläserne Sehrohr im Altertum und Mittelalter, B. M., VIII, S. 15 ff. — [84] Lambert, Photometria sive de mensura et gradibus lucis, colorum et umbrae, Augsburg 1760, S. 388 ff. — [85] Clausius, Die Lichterscheinungen der Atmosphäre dargestellt und erläutert, B. M. O., I, S. 375 ff. — [86] Leonh. Weber, Intensitäts-

messungen des diffusen Tageslichtes, M. Z, II, S. 163 ff., 219 ff., 451 ff. — [87] Ebenda, S. 453. — [88] Güssfeldt, Reise in den Andes von Chile und Argentinien, Berlin 1888, S. 37. — [89] Funck, Liber de coloribus coeli, Ulm 1716. — [90] Hellmann, Beobachtungen über die Dämmerung, Z. ö. G. M., XIX, S. 168 ff. — [91] Pernter, Die blaue Farbe des Himmels, Wien 1890. — [92] Saussure, Déscription d'un cyanomètre, J. P., XXXVIII; M. T., IV. — [93] R. Wolf, Biographien zur Kulturgeschichte der Schweiz, IV, Zürich 1862, S. 169. — [94] P. Prevost, Remarques sur trois suites d'observations cyanométriques de H. B. Saussure, J. P., LVII, S. 372 ff. — [95] J. Müller, S. 399. — [96] Humboldt, Kosmos, III, S. 94 ff. — [97] Goethe, Farbenlehre, I, Stuttgart 1869, S. 56. — [98] Brücke, Ueber Ergänzungsfarben und Kontrastfarben, Mol. U., X, S. 125 ff. — [99] Muncke, Ueber subjektive Farben und gefärbte Schatten, S. J. P., XXX, S. 81 ff. — [100] G. P. W., I, S. 12. — [101] Nichols, A new Explanation of the Coulours of the Sky, P. M., (3) VIII, S. 425 ff. — [102] Priestley-Klügel, Geschichte und gegenwärtiger Zustand der Optik, Leipzig 1876, S. 327 ff. — [103] Die farbigen Schatten, ihre Entstehung und ihr Gesetz, Aarau 1826. — [104] Fournet, Recherches sur les ombres colorées, C. R., XLVIII, S. 1105 ff. — [105] Newton-Clarke, Optice, London 1706, S. 194 ff. — [106] Forbes, The Colours of the Atmosphere, T. S. E., XIV, S. 1 ff. — [107] Clausius, S. 390 ff. — [108] Heller, II, S. 260 ff. — [109] Wangerin-Sohncke, Neue Untersuchungen über die Newtonschen Ringe, A. P. C., (2) LII, S. 1 ff., 201 ff. — [110] Lord Rayleigh, On the Scattering of Light by small Particles, P. M., (3) XIII, S. 81 ff. — [111] Crova, Die Zerstreuung des Sonnenlichtes und die blaue Farbe des Himmels, M. Z., IX, S. 63 ff. — [112] Trabert, Diffuse Reflexion und Absorption der Sonnenstrahlen in der Atmosphäre, M. Z., X, S. 245 ff. — [113] Ueber die Farben des Himmels-, Sonnen-, Wolken- und Kerzenlichtes, M. Z., X, S. 427 ff. — [114] Lommel, Beiträge zur Theorie der Beugung des Lichtes, A. M. P,, XXXVI, S. 385 ff.; Theorie der Abendröte und verwandter Erscheinungen, A. P. C., CXXXI, S. 105 ff. — [115] Heis, Erscheinung des Wasserziehens an der der Sonne gegenüberstehenden Seite, W. A. M. G., (2) VI, S. 118 ff. — [116] Hammer, Wasserziehen zur Gegensonne, M. Z., IX, S. 432; Mack, Wasserziehen zur Gegensonne mit gleichzeitigem Regenbogen, M. Z., XIV, S. 317. — [117] J. Müller, Lehrb. d. kosm. Phys., S. 406 ff.; Wheatstone, On a Mean of determining the apparent Solar Time by the diurnal Change of the Plane of Polarization at the North Pole of the Sky, Report of the British Association for 1848. — [118] J. Müller, S. 140 ff. — [119] Hagenbach-Bischoff, Polarisation und Farbe des von der Atmosphäre reflektierten Lichtes, A. P. C., CXLVIII, S. 77 ff. — [120] Arago, Polarisation de la lumière d'un halo, Q. J. S., XX, S. 167 ff. — [121] Babinet, Nouveau point neutre dans l'atmosphère, C. R., XI, S. 616 ff. — [122] Brewster, Observations on the Polarization of the Atmosphere, made at St. Andrews, P. M., 1865, S. 120 ff. — [123] J. L. Soret, Sur la polarisation atmosphérique, A. C. P., (6) XIX; M. Z., VI, S. [31]; J. L. u. Ch. Soret, Observations du point neutre de Brewster, C. R., CVII, S. 621 ff. — [124] Busch, Beobachtungen über die Polarisation des Himmelslichtes, insbesondere zur Zeit der Abenddämmerung, M. Z., VI, S. 81 ff. — [125] Mac Connel, On the Polarization of Sky-Light, P. M., 1889, S. 81 ff. — [126] J. L. Soret, Influence des surfaces d'eau sur la polarisation atmosphérique, C. R., CVII, S. 867 ff. — [127] Cornu, Observations relatives à la couronne visible actuellement autour du soleil, J. P., (2) IV, S. 53 ff. — [128] Busch, S. 85. — [129] Becquerel, Mémoire sur la polarisation atmosphérique et l'influence du magnétisme terrestre sur l'atmosphère, A. C. P. 1880, S. 90 ff. — [130] Busch, S. 91. — [131] Bosanquet, On the Polarization of the Light in the Sky, P. M., 1875, 2, S. 497 ff. — [132] Brewster-Gladstone, On the Lines of the Solar Spectrum; Map of the Solar Spectrum giving the Absorption Lines of the Earth's Atmosphere, P. T., 1860, S. 149 ff. — [133] Gladstone, Notes on the Atmospheric Lines of the Solar Spectrum, P. R. S., XI, S. 305 ff. — [134] Janssen, Sur les raies telluriques du spectre solaire, C. R., LIV, S. 1280; LVI, S. 538; LIX, S. 213; Henessey, Sur les rayes atmosphériques du spectre solaire produits dans une carte sur la même échelle que cette adoptée par Kirchhoff, M., (2) XXVII, S. 44 ff. — [135] Elster-Geitel, Beobachtungen über die Absorption des ultravioletten Lichtes in der Atmosphäre, M. Z., X, S. 40 ff. — [136] Bartoli-Stracciati, Ueber die Absorption von Sonnenstrahlen durch Nebel und Cirren, M. Z., XII, S. 39 ff. — [137] Th. Arendt, Die Bestimmung des Wasserdampfgehaltes der Atmosphäre auf Grund spektroskopischer Messungen, M. Z., XIII, S. 376 ff. — [138] Wellmann, Zur Theorie der Doppelbildmikrometer, A. N., CXXVI, S. 85 ff. — [139] Cornu, Sur les raies telluriques qu'on observe dans le spectre solaire au voisinage des raies D, J. E. P., 51. Heft. — [140] G. Müller, Photometrische und spektroskopische Beobachtungen, angestellt auf dem Gipfel des Säntis, P. A. O. P., VIII. — [141] Secchi, Note sur les spectres prismatiques des corps célestes, C. R., LVII, S. 71 ff. — [142] Piazzi Smyth, Tenneriffe; an Astronomers Experiment, or Specialities of a Residence above the Clouds, London 1858. — [143] Ueber das Vorherverkündigen regnerischer Witterung bei hohem Barometerstande mittelst des Spektroskopes, G., XVII, S. 723 ff. — [144] Krone, Ueber Aktinitätsvergleichungen an verschiedenen Orten der Erde, J. V. E. D., XXIII, S. 118 ff. — [145] Ebenda, S. 123. — [146] Roscoe-Schorlemmer, Die Spektralanalyse in einer Reihe von sechs Vorlesungen, Braunschweig 1870, S. 16 ff. — [147] H. C. Vogel, Photographische Spektralbeobachtungen im Roten und Indischen Meere, A. P. C., CLVI, S. 319 ff. — [148] H. C. Vogel, Spektroskopische Untersuchung des Lichtes der blauen Grotte auf Capri, A. P. C., CLVI, S. 325 ff. — [149] Lambert, Photometria, S. 388 ff. — [150] Clausius, S. 379 ff. — [151] Zuckermann, Materialien zur Entwickelung der altjüdischen Zeitrechnung im Talmud, Breslau 1882, S. 65 ff. — [152] Redhouse, Identification of the false Down of the Muslims with the Zodiacal Light of the Europeans, J. R. A. S., (2) XII, S. 327 ff. — [153] Bravais, Sur les phénomènes crépusculaires, C. R., XIV, S. 921 ff.; XVIII, S. 727 ff. — [154] Nonius, De crepusculis liber unus, cum tractatu Alhazeni de causis crepusculorum, Lissabon 1542. — [155] Joh.-Bernoulli-Cramer, Opera Omnia, I, Lausanne 1742, S. 64 ff. — [156] R. Wolf, Handbuch der Mathematik, Physik, Geodäsie und Astronomie, II, Zürich 1870, S. 178 ff. — [157] Stoll, Das Problem der kürzesten Dämmerung, Z. M. P., XXVIII, S. 150 ff. — [158] A. v. Humboldt-Hauff, Reise in die Aequinoctialgegenden des neuen Kontinentes, I, S. 160 (Neueste Stuttgarter Ausgabe der Werke, V). — [159] Hann, Handbuch der Klimatologie, II, Stuttgart 1897, S. 38 ff. — [160] Ebenda, III, S. 484. — [161] Lambert, S. 448 ff. — [162] Hellmann, Ueber Dämmerungserscheinungen, M. Z., I, S. 39. — [163] Mairan, Traité physique et historique de l'aurore boréale, Paris 1754, S. 400. — [164] v. Bezold, Atmosphärisch-optische Erscheinungen im Hochgebirge, W. M., (3) XII, S. 282 ff. — [165] v. Bezold, Anleitung zur Beobachtung von Dämmerungserscheinungen, Mitteil. d. internat. Polarkommission, S. 81 ff. — [166] Riggenbach, Beobachtungen über die Dämmerung, insbesondere über das Purpurlicht und seine Beziehungen zum Bishopschen Sonnenringe, Basel 1886. — [167] Kiessling, Untersuchungen über Dämmerungserscheinungen zur Erklärung der nach dem Krakatau-Ausbruche beobachteten atmosphärisch-optischen Störung, Hamburg-Leipzig 1888. — [168] Funck, S. 155. — [169] Burkhardt-Jetzler, Die Abendlichter an der östlichen Küste Südamerikas, A. P. C., CXLV, S. 196 ff., 337 ff. — [170] Franceschi, La crépuscule à Alexandrie, B. S. K. G., (4) Nr. 9. — [171] Der grüne Strahl, Pr., VI, S. 558. — [172] Sohncke, Das blaugrüne Flämmchen, M. Z, VI, S 477. — [173] Schlesicke, Miscelle, B. M. O., I, S. 463 ff. — [174] Lambert,

S. 449. — [175] Keill, Introductio ad veram astronomiam, Oxford 1718, S. 301. — [176] Kiessling, S. 146 ff. — [177] Pernter, Das erste Purpurlicht, M. Z., VII, S. 44 ff. — [178] Kiessling, Zur Erklärung der ringförmigen Gegendämmerung, M. Z., II, S. 70 ff. — [179] R. Wolf, Handbuch etc., II, S. 176. — [180] Waltenberger, Das bayerische Hochland und Salzburg nebst den angrenzenden Gebieten von Tirol, Augsburg 1880, S. 449. — [181] Necker de Saussure, Sur une espèce particulière de rayons divergents qui se ne manifestent que longtemps après le coucher du soleil, A. P. C., LXX, S. 151 ff. — [182] De la Rive, Sur la seconde coloration du Montblanc, B. U., (2) XXIII, S. 383 ff., XXIV, S. 200. — [183] Amsler-Laffon, Theorie des Alpenglühens, V. N. G. Z., XXXIX, S. 221 ff. — [184] J. Maurer, Amslers Theorie des Alpenglühens und ihre Widerlegung, M. Z., XII, S. 281 ff. — [185] v. Bezold, Beobachtungen über die Dämmerung, A. P. C., CXXIII, S. 256 ff. — [186] Ragona, Ueber das ungewöhnliche Abendrot, Z. ö. G. M., XIX, S. 72 ff. — [187] v. Zech, Ueber die Abendröten der letzten Wochen, H., III, S. 127 ff. — [188] Lorscheid, Die Lichterscheinungen am Morgen- und Abendhimmel in den Monaten November und Dezember 1883 und Januar 1884, G., XX, S. 76 ff. — [189] Neumayer, Bericht über die vulkanischen Ausbrüche des Jahres 1883 in ihrer Wirkung auf die Atmosphäre, M. Z., I, S. 1 ff. — [190] Ebenda, S. 156 ff. — [191] Ebenda, S. 181 ff. — [192] Ebenda, S. 277 ff. — [193] Ebenda, S. 311 ff. — [194] Aluard, Lueurs crépusculaires du 27 Décembre observées au sommet du Puy de Dôme, C. R., XCVIII, S. 161. — [195] Kiessling, Ueber den Einfluss künstlich erzeugter Nebel auf direktes Sonnenlicht, M. Z., I, S. 117 ff. — [196] Riccò, L'île Ferdinandea, le soleil bleu et les crépuscules rouges de 1831, C. R., CII, S. 1060 ff. — [197] Traumüller, Die trockenen Nebel, Dämmerungen und vulkanischen Ausbrüche des Jahres 1873, M. Z., II, S. 138 ff. — [198] Kiessling, Die angeblich im Jahre 1783 beobachteten Dämmerungserscheinungen, M. Z., II, S. 230 ff. — [199] Busch, Beiträge zur Erkenntnis des Dämmerungsphänomenes, Arnsberg 1884, IV. [200] Ebenda, IV. — [201] Grützmacher, Der braunrote Ring um die Sonne, W., I, S. 10 ff. — [202] Kiessling, Ueber die geographische Verbreitung des Bishopschen Sonnenringes, W., II, S. 81 ff. — [203] Dreisbach, Brauner Ring um den Mond, M. Z., III, S. 273. — [204] Busch, Beiträge etc., III. — [205] Kremser, Optische Beobachtungen von der Schneekoppe, M. Z., II, S. 141 ff. — [206] Busch, Beiträge etc. I. — [207] Th. Forster, Researches about Atmospherical Phenomena, London 1823, S. 86. — [208] Poëy, Definition de l'anticrépuscule prismatique, C. R., XLVIII, S. 916 ff. — [209] Busch, Beiträge etc., V. — [210] Zenker, Der braune Ring um die Sonne bei totalen Sonnenfinsternissen, M. Z., II, S. 400 ff. — [211] Hann, Ueber die ausserordentlichen Dämmerungserscheinungen, Z. ö. G. M., XIX, S. 72 ff. — [212] Flammarion, Le soleil vert et le cataclysme de Java, L. A., 1884, S. 19 ff. — [213] Hazen, The Sun Glows, A. J. S., Märzheft 1884. — [214] Riccò, Phénomènes atmosphériques observés à Palermo pendant l'éruption de l'Etna, C. R., CII, S. 419 ff. — [215] v. Danckelman, Die Bewölkungsverhältnisse des südwestlichen Afrika, M. Z., I, S. 301 ff. — [216] Langley, A Vast Dunst Envelope, N., XXIX, S. 324. — [217] Busch, Beiträge etc., II. — [218] Symons, The Eruption of Krakatoa and subsequent Phenomena, London 1888; Günther, Der Krakataausbruch und die Dämmerungserscheinungen, P. G. M., XXXV, S. 73 ff. — [219] Ringwood, Red Sunsets, N., XXX, S. 301 ff. — [220] Bishop, The Origin of the Red Glows A. M. J., III, S. 127 ff., 193 ff. — [221] Kiessling, Untersuchungen über Dämmerungserscheinungen zur Erklärung der nach dem Krakatauausbruche beobachteten atmosphärisch-optischen Störung, Hamburg-Leipzig 1888. — [222] Pernter, Der Krakatauausbruch und seine Folgeerscheinungen, M. Z., VI, S. 329 ff., 407 ff., 447 ff. — [223] Kiessling, Untersuchungen etc., S. 115 ff. — [224] Pernter, Der Krakatauausbruch etc., S. 332. — [225] Ebenda, S. 465. — [226] Kiessling, S. 160 ff. — [227] Stokes, On the Dynamical Theory of Diffraction, T. C. S., IX, S. 1 ff. — [228] Kiessling, Ueber den Einfluss künstlich erzeugter Nebel auf direktes Sonnenlicht, M. Z., I, S. 117 ff. — [229] Kiessling, Nebelglühapparat, Hamburg 1885. — [230] Pernter, a. a. O., S. 117. — [231] Kiessling, Ueber den Einfluss etc., S. 121 ff. — [232] Kiessling, Untersuchungen etc., S. 131 ff. — [233] Ebenda, S. 169 ff. — [234] Ebenda, S. 21 ff. — [235] Günther, Lehrbuch der Geophysik und physikalischen Geographie, II, Stuttgart 1885, S. 143. — [236] J. Schreiber, Die ältesten Messungen von Wolkenhöhen, M. Z., XIII, S. 398 ff. — [237] Maignan, Perspectiva horaria, Rom 1648. — [238] Jesse, Die Höhe der Dunstschicht, durch welche die merkwürdigen Dämmerungserscheinungen der letzten Monate hervorgerufen worden sind, M. Z., I, S. 127 ff. — [239] Mohn, Irisierende Wolken, M. Z., X, S. 81 ff. — [240] Reimann, Irisierende Wolken, M. Z., XII, S. 200. — [241] Jesse, Die Höhe der leuchtenden Wolken, M. Z., IV, S. 424. — [242] Jesse, Auffallende Abenderscheinungen am Himmel, M. Z., II, S. 311 ff. — [243] Jesse, Die auffallenden Abenderscheinungen am Himmel im Juni und Juli 1885, M. Z., III, S. 8 ff. — [244] R. v. Helmholz, Silberne Wolken, M. Z., IV, S. 335. — [245] Jesse, Untersuchungen über die sogenannten leuchtenden Wolken, M. Z., VIII, S. 306 ff. — [246] Mac Connel, Iridescent Clouds, N., XXXV, S. 533. — [247] Grützmacher, Leuchtende Wolken, W., III, S. 204 ff. — [248] Busch, Beiträge etc., II. — [249] Förster-Jesse, Aufforderung zur Beobachtung der leuchtenden Nachtwolken, M. Z., IX, S. 413 ff. — [250] Busch, Mitteilungen über einige mit der glänzenden Dämmerung des Winters 1883—84 in Zusammenhang stehende Erscheinungen, M. Z., II, S. 233. — [251] Clausius, S. 401 ff. — [252] J. Müller, S. 373 ff. — [253] Hirschberg, Die Optik der alten Griechen, Leipzig 1898, S. 15. — [254] Latham, On a singular Instance of Atmospheric Refraction, G. A. P., IV, S. 142. — [255] Minasi, Dissertazione sopra un fenomeno vulgarmente detto Fata Morgana, Rom 1773. — [256] J. Gruber, Physikalische Abhandlung von der Strahlenbrechung, Dresden 1787. — [257] Billwiller, Ueber eine merkwürdige Luftspiegelung, V. N. G. Z., 1878, S. 273 ff. — [258] Martins-C. Vogt, Von Spitzbergen zur Sahara, II, Jena 1872, S. 135 ff. — [259] Koran, Sure 24; ed. Ullmann, Bielefeld 1872, S. 198. — [260] Büsch, Tractatus duo optici argumenti, Hamburg 1783. — [261] Monge, Sur le phénomène optique, connu sous le nom de mirage, Mémoires de l'Institut d'Égypte, I. — [262] Wollaston, On Double Images caused by Atmospherical Refraction, P. T., 1800, S. 239 ff. — [263] J. Biot, Recherches sur les réfractions extraordinaires qui ont lieu près de l'horizon, Paris 1810; G. A. P., XIII, S. 237 ff., 366 ff. — [264] Bravais, Explication, par le système des ondes, d'un cas remarquables de la réfraction de la lumière, A. C. P., (3) XLVI, S. 492 ff. — [265] O. Wiener, Darstellung gekrümmter Lichtstrahlen und Verwertung derselben zur Untersuchung der Diffusion und Wärmeleitung, A. P. C., (3) XLIX, S. 105 ff. — [266] Biermann, Einige Beobachtungen über Spiegelkimmung, M. Z., IV, S. 186 ff. — [267] Grunert, Die Theorie der Luftspiegelung, B. m. O., I, S. 326. — [268] Vince, Observation of an unusual Horizontal Refraction of the Air, London 1799. — [269] Scoresby, An Account of the Arctic Regions with a History and Description of the Northern Wale-Fishery, I, Edinburgh 1820, S. 386. — [270] Clausius, S. 416. — [271] J. Müller, S. 379. — [272] Reclam, Geschichte der Theorie des Regenbogens, G. XIV, S. 461 ff. — [273] Gnau, Der Regenbogen, H., II, S. 226 ff. — [274] Poske, Die Erklärung des Regenbogens bei Aristoteles, Z. M. P., H. A., XXVIII, S. 134 ff. — [275] L. Annaei Senecae Natural. Quaest. libri VII, lib. I, cap. 3. — [276] Venturi, Commentari sopra la storia e la teoria dell' ottica, Bologna 1814; Poggendorf, Gesch. d. Phys., S. 96 ff. — [277] Fleischer, De iridibus doctrina Aristotelis et Vitellionis, certa methodo comprehensa, Wittenberg 1571. — [278] De

Dominis, De radiis visus et lucis in vitris perspectivis et iride tractatus, Venedig 1611, — [279] Reclam, S. 471 ff. — [280] Cartesius, Les météores, Oeuvres, ed. Cousin, V, Paris 1825, 8. Teil. — [281] Newton-Clarke, Optice, S. 121 ff. — [282] Heller, Gesch. d. Phys., II, S. 101. — [283] Spinoza, Stelkonstige Reeckening van den Regenboog, ed. Bierens de Haan, Leiden 1884. — [284] Marek, Thaumantias; liber de arcu coelesti deque colorum apparentium natura, Prag 1648. — [285] Gnau, S. 234. — [286] Rosenberger, Gesch. d. Phys., II, S. 114 ff. — [287] Heilermann-Diekmann, Lehr- und Uebungsbuch für den Unterricht in der Algebra, III, Essen 1879, S. 109. — [288] Gnau, S. 232 ff. — [289] Radicke, Handbuch der Optik, II, Berlin 1839, S. 305. — [290] Bergman, Om Regenbagen, Stockholm 1759. — [291] Heilermann, Ueber den dritten Regenbogen, Z. m. n. U., X, S. 72 ff.; Kurz, Der fragwürdige dritte Regenbogen, Z. M. P., XXVII, S. 317 ff. — [292] Czermak, Zur Konstruktion des Regenbogens, M. Z., XII, S. 313 ff. — [293] Hirschberg. Von New York nach San Francisco, Leipzig 1888, S. 269. — [294] Ebenda, S. 273. — [295] Hennig, Die seltene Erscheinung eines prachtvollen Mondregenbogens, M. Z., XI, S. 390 ff. — [296] Jak. Bernoulli, Opera, ed. Cramer, I, Genf 1744, S. 400. — [297] Webb, Account on an inverted Iris, P. T., XLVII, S. 248 ff. — [298] Priestley-Klügel, Geschichte etc., S. 430. — [299] Weidler, Commentarius de parheliis mense Januario anni 1736 visis, Wittenberg 1730, S. 30. — [300] Heller, Gesch. d. Phys., I, S. 202. — [301] Hammerl, Ueber Regenbogen, gebildet durch Flüssigkeiten von verschiedenen Brechungsexponenten, S. A. W., M. N., 1883, S. 206 ff. — [302] Tyndall, On Rainbows, P. M., 1884, S. 61 ff. — [303] v. Gersdorf, Einige seltene Naturerscheinungen, L. P. B., II. — [304] Bravais, Sur le phénomène de l'arc-en-ciel blanc, A. C. P., (3) XXI, S. 348 ff. — [305] Tyndall, Note on the white Rainbow, P. M., 1884, S. 161 ff. — [306] Wimmenauer, Weisser Regenbogen, M. Z., XII, S. 312 ff. — [307] Mascart, Sur l'arc-en-ciel, P. R., 1892, S. 266 ff. — [308] Tyndall-C. Wiedemann, Das Licht, Braunschweig 1876, S. 29. — [309] München, Gespiegelter Regenbogen, M. Z., XII, S. 70. — [310] H. Dufour, Note sur une forme rare d'arc-en-ciel, B. S. V., XXXI, S. 191 ff., XXV, S. 46 ff. — [311] Leyst, Zur Frage über Spiegelung des Regenbogens, M. Z., XIII, S. 35 ff. — [312] Günther, Lehrbuch der Geophysik, II, S. 49. — [313] Czermak, S. 309. — [314] Bravais, Annuaire météorologique de France pour 1849, S. 331. — [315] Langwith-Daval, On extraordinary Rainbow, P. T., 1722, S. 241 ff. — [316] Priestley-Klügel, S. 428 ff. — [317] Elfert, Zur meteorologischen Optik, M. Z., VI, S. 398. — [318] Pemberton, On a secundary or reflected Rainbow, P. T., 1723, S. 245 ff. — [319] Hellwag, Abhandlung vom vielfachen Regenbogen, T. M., 1790, S. 420 ff. — [320] Venturi, Commentari etc., S. 78 ff. — [321] G. P. W., VII, 2, S. 1331 ff. — [322] Ebenda, S. 1334; Ueber den Regenbogen, G. A. H., XIX, S. 464 ff. — [323] Airy, Intensity of Leight in the Neighborhood of a Caustic, T. C. S., VI, S. 379 ff. — [324] Mascart, Traité d'optique, I, Paris 1889, S. 382 ff.; Lummer, Referat, N. R., VIII, S. 273 ff. — [325] Miller, On spurious Rainbows, P. M., (3) VI, S. 397 ff. — [326] Galle, Messungen am Regenbogen, A. P. C., LXIII, S. 342 ff. — [327] Clausius, S. 433 ff. — [328] Sohncke, Gemeinverständliche Vorträge aus dem Gebiete der Pysik, Jena 1892, S. 129 ff. — [329] Heller, I, S. 60. — [330] Fraunhofer, Neue Modifikation des Lichtes durch gegenseitige Einwirkung und Beugung der Strahlen, S. A. A., 2. u. 3. Heft; K. Exner, Ueber die durch zahlreiche, ungleich verteilte Körperchen hervorgerufenen Beugungserscheinungen, S. A. W., M. N., 1884, S. 827 ff. — [331] Kämtz, Lehrbuch der Meteorologie, III, Halle 1836, S. 115. — [332] Schwerd, Die Beugungserscheinungen aus den Fundamentalgesetzen der Undulationstheorie analytisch entwickelt und in Bildern dargestellt, Mannheim 1835, S. 125 ff. — [333] Sohncke, S. 335. — [334] Clausius, S. 445. — [335] Kämtz, III, S. 192. — [336] J. Müller, S. 438 ff. — [337] Mariotte, Essai sur la nature des couleurs, Paris 1681; Rosenberger, II, S. 202 ff. — [338] Galle, Ueber Höfe und Nebensonnen, A. P. C., XLIX, S. 310 ff. — [339] Bravais, Sur les halos et les phénomènes qui les accompagnent, J. E. P., XVIII, S. 320 ff. — [340] Lommel, Elementare Behandlung einiger optischer Probleme, Z. M. P., XX, S. 212 ff. — [341] H. Vogt, Geometrische Beweise des Satzes von der Minimalablenkung im Prisma, Z. M. P., XXX, S. 111 ff. — [342] Kurz, Die kleinste Ablenkung im Prisma, Z. M. P., XXXVII, S. 317 ff. — [343] Ad. Schmidt, Optische Erscheinung, M. Z., XII, S. 117. — [344] Cornu, Sur la réproduction artificielle des halos et des anneaux parhéliques, C. R., CV, S. 429 ff. — [345] K. Fritsch, Sonnenhöfe und Nebensonnen in der täglichen und jährlichen Periode, Z. ö. G. M., II, S. 465 ff. — [346] Hellmann, Ueber die Häufigkeit der Halo-Phänomene, M. Z., X, S. 415 ff. — [347] Refraktionserscheinung über Schnee, M. Z., X, S. 280; N., XLVIII, S. 60. — [348] Schwatka-Klutschak, Als Eskimo unter den Eskimos, Wien-Pest-Leipzig 1881. — [349] Bessels, Die amerikanische Nordpolexpedition, Leipzig 1879, S. 635 ff. — [350] Nansen, In Nacht und Eis, Leipzig 1897, a. v. St. — [351] v. Braunmühl, Christoph Scheiner als Mathematiker, Physiker und Astronom, Bamberg 1891, S. 67 ff. — [352] Hevelius, Mercurius in sole visus . . . nec non genuina delineatio paraselenarum et pareliorum quorundam rarissimorum, Danzig 1612. — [353] J. T. Lowitz, Déscription d'un météore rémarquable observé à St. Pétersbourg, St. Petersburg 1794. — [354] Kuhse, Die drei wichtigsten Hof- und Nebensonnenphänomene . . . nach den Quellen dargestellt, B. m. O., I, S. 169 ff. — [355] Brotbeyel, Der dreier Sonnen, mit jren Regenbogen und ringen beschreibung, so im MDXLI. Jar, am IV. tag Winttermons, ob der Stadt Ballingen, ain meil wegs vom hohen Zollern in Wirtenberg gelegen, erschinen, auch an andern orten gsehen, Augsburg s. a.; Günther, Ein Stück Meteorologie und Astrologie aus Alt-München, J. M. G., I, S. 88 ff. — [356] v. Kalmar, Halophänomen in Pola, M. Z., XIII, S. 183 ff. — [357] Kuhse, S. 191. — [358] Aepinus, Halonum extraordinariarum Petropoli visarum descriptio, N. C. A. P., VIII, S. 392 ff.; Abhandlung von den Lufterscheinungen, St. Petersburg 1763. — [359] Thirion, Halo solaire remarquable, C. T., (2) II, S. 149. — [360] Gerling, Besonders gearteter Höhenrauch und fächerförmige Lichtsäule, beobachtet zu Marburg, K. A., XIV, S. 313 ff. — [361] Holetschek, Lichtsäulen bei Sonnenauf- und Untergang, M. Z., III, S. 313 ff. — [362] Busch, Lichtsäulen bei der Sonne, M. Z., III, S. 507 ff. — [363] Körber, Lichtsäule über dem Monde, M. Z., VI, S. 440. — [364] Bessel, Nebensonnenartige Erscheinung bei einer Sonnenfinsternis, A. P. C., LIV, S. 602 ff. — [365] Dulk, Eine Lichtsäule, beobachtet zu Königsberg, K. A., V, S. 383 ff. — [366] Galle, Ueber eine am 1. Februar 1873 zu Breslau über einer Feuersbrunst beobachtete Lichtsäule, A. P. C., Jubelband. S. 21 ff. — [367] K. Exner, Ueber die bei totalen Sonnenfinsternissen auftretende Erscheinung der „fliegenden Schatten“ und der „Baily Beads“, A. N., Nr. 2781. — [368] Folie, Eigentümliches optisches Phänomen, M. Z., X, S. 279 ff.; Sur une phénomène d'optique atmosphérique observé dans les Alpes, Brüssel 1892; C. R., IV, S. 644; Z. ö. G. M., XII, S. 410. — [369] Sohncke, S. 135 ff. — [370] Fraunhofer, S. 49. — [371] Clausius, S. 439 ff. — [372] Silberschlag, Geogenie oder Erklärung der mosaischen Erderschaffung nach physikalischen und mathematischen Grundsätzen, I, Berlin 1780, S. 139. — [373] Sohncke, S. 138. — [374] Lommel, Wind und Wetter, gemeinfassliche Darstellung der Meteorologie, München 1873, S. 318. — [375] Clausius, Ueber die Lichtzersetzung in der Atmosphäre und die Intensität des durch die Atmosphäre reflektierten Lichtes, J. r. a. M., XXXVI, S. 122 ff., 185 ff. — [376] Aug. Schmidt, Zur Erklärung des Brockengespenstes, J. v. N. W., 1887, S. 68 ff. — [377] Heim, Ueber Nebelbilder, J. s. A., XIV, S. 406 ff. — [378] Fugger, Zur meteorologischen

Optik im Hochgebirge, A., LXV, S. 754 ff. — [379] Lommel, S. 325. — [380] v. Winterfeld, Ueber den hellen Schein, den einige um den Schatten des Kopfes gesehen haben, G. A. P., XVIII, S. 57 ff. — [381] Ebenda, S. 364. — [382] G. P. W., V, 1, S. 439. — [383] Lommel, Ueber den Lichtschein um den Schatten des Kopfes, S. p. m. S. E., 23. Juni 1873. — [384] B. Prevost, Considérations sur le brillant des yeux du chat et des quelques autres animaux, B. Br., XLV, S. 196 ff. — [385] Fugger, S. 757.

Kapitel IV.

Atmosphärische Elektrizität; Gewitter.

§. 1. **Statische und dynamische Elektrizität.** Man kann es als Regel hinstellen: In der Atmosphäre ist stets eine gewisse elektrische Ladung vorhanden. Allerdings ist dieselbe oft nur schwach, und zumal in den Polarländern reagieren zuweilen auch sehr empfindliche Messapparate gar nicht, ohne dass deshalb anzunehmen wäre, es sei auch mit noch feineren Indikatoren gar kein Erfolg zu erzielen. Bei gewissen Bewegungszuständen steigert sich die atmosphärische Spannung der Luft, so dass wir wohl ein Recht haben, zwischen statischer und dynamischer Elektrizität einen — allerdings bloss quantitativen — Unterschied zu machen.

Bessels konnte [1] im Polaris-Hafen keine atmosphärischen Elektrizität nachweisen, aber seine Vermutung [2], „dass alle freie Luftelektrizität sofort verbraucht worden sei, um den Sauerstoff der Luft allotropisch zu machen“, ist wohl kaum zutreffend. Wenn jedoch Bravais und Lottin (I, S. 27) während des Oktobers 1838 in Lappland gar keine, im Februar und März 1839 dagegen schwache Spuren einer elektrischen Ladung erkennen konnten [3], so ist doch damit sehr wahrscheinlich gemacht, dass nur eben zuerst die Instrumente nicht ausreichten, während späterhin die Elektrizitätsmenge stark genug wurde, um eine Einwirkung auf jene auszuüben.

Aufmerksam gemacht auf die elektrische Natur der Gewitter wurde zuerst O. v. Guericke [4], als er einen Finger an seine primitive, aus einer rotierenden Schwefelkugel bestehende Elektrisiermaschine hielt und ein knisterndes Geräusch des überspringenden Funkens vernahm. Von Le Monnier rühren die ersten Beobachtungen des elektrischen Verhaltens der Luft bei heiterem Himmel her [5].

Man besitzt monographische Darstellungen der Lehre von der Luftelektrizität von Waitz [6], K. F. Jordan [7] und, als Resultat langjähriger Beschäftigung mit diesen Fragen, von Palmieri [8]. Nachmals ist dann noch die verdienstliche Uebersicht v. Urbanitzkys [9] hinzugekommen, und auch in dem ein allgemeineres Ziel anstrebenden Werke von Hoh [10] wird diese Lehre behandelt, wie sie denn auch natürlich in den meisten Lehrbüchern der Meteorologie ihre Stelle findet.

§. 2. **Atmosphärisch-elektrische Messapparate.** Um uns davon zu überzeugen, dass überhaupt die Luft elektrisch geladen sei, genügen Elektroskope, und gar manche Vorrichtungen, welche man euphemistisch Elektrometer nannte, wie z. B. Voltas viel besprochenes Strohhalmelektrometer [11], gehören im Grunde nur der ersteren Klasse an. Will man aber wirklich messen, so muss man zunächst wissen, was denn eigentlich gemessen werden soll, und darüber bedarf es also einer ersten Verständigung.

Wenn wir ein Mass der Luftwärme gewinnen wollen, so nehmen wir die Temperatur als solches. Die sich in einem leitenden Körper bewegende Wärme fassen wir in einem durchaus zutreffenden Bilde als Strom auf, und von diesem Strom bestimmen wir, um im Bilde zu verbleiben, das sogenannte Gefälle, welches, wenn wir mit ϑ die Temperatur, mit t die Zeit benennen, durch den Differentialquotienten $d\vartheta : dt$ zu charakterisieren ist; mit den laufenden Koordinaten x, y, z eines Punktes in dem durchströmten Körper hängt dann, unter k eine von spezifischer Wärme, Dichte und Leitungsvermögen abhängige Grösse verstanden, das Gefälle durch die Fouriersche Differentialgleichung zusammen [12]:

$$\frac{\partial \vartheta}{\partial t} = k^2 \left(\frac{\partial^2 \vartheta}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \vartheta}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \vartheta}{\partial z^2} \right).$$

Es ist G. S. Ohms unsterbliches Verdienst, Fouriers Betrachtungsweise auf die Theorie der strömenden Elektrizität ausgedehnt zu haben [13]; so ergab sich auch für sie der Begriff des Gefälles, speziell, wie man auch sagen kann, des Potentialgefälles; die Analogie ist besonders von Wand [14] systematisch begründet worden. Was früher Temperatur hiess, ist jetzt das Potential geworden [15], und die obige Scheidung zwischen statischer und dynamischer Elektrizität kann daran nichts ändern, da dieselbe nur eine graduelle, nicht aber eine grundsätzliche ist und sein will. Wir erinnern uns auch jener Definition (I, S. 179) des Potentiales, welche letzteres für die Arbeitsgrösse erklärte, deren Aufwendung den einer anziehenden Kraft ausgesetzten Massenpunkt aus der Entfernung ∞ bis an die Stelle heranbrachte, an welcher er sich gerade befindet. Dieselbe trifft hier gleichfalls zu. Wenn wir die mittlere Dichte der Elektrizität in A gleich m Volt gefunden haben, indem 1 Volt die Einheit der elektromotorischen Kraft bedeutet, so können wir nach F. Exner [16], der in dieser Hinsicht die Maxwellschen Ideen [17] für unsere Zwecke fruchtbar gemacht hat, folgendes aussagen:

Der von allen elektrischen Punkten unendlich entfernt zu denkende Punkt A hat ein Potential, welches um m Volt höher als das der Erde ist. Wollen wir statt der willkürlichen Einheit des Volt die natürliche, in Dimensionen ausgedrückte elektrostatische Einheit (I, S. 523) einführen, so muss

$$[E]_s = l^{\frac{1}{2}} \cdot m^{\frac{1}{2}} \cdot t^{-1}$$

gesetzt werden.

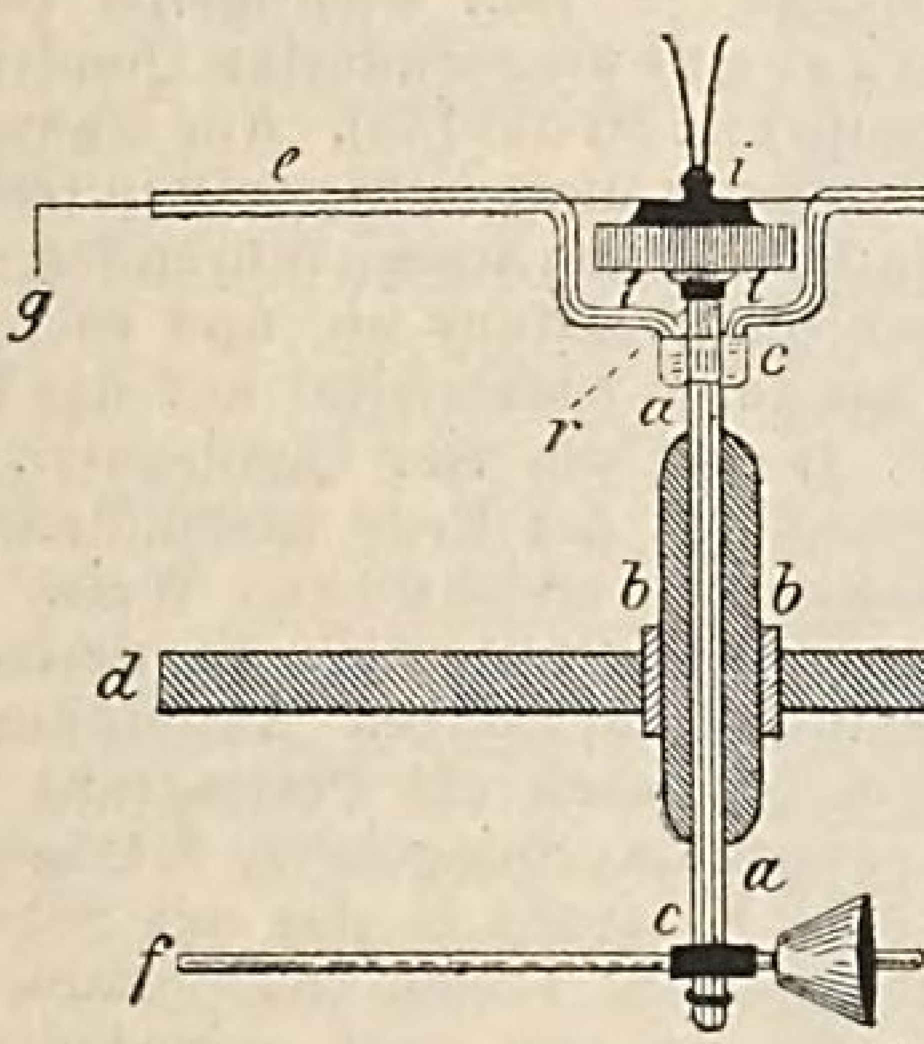
Was wir durch unsere Messapparate direkt zu ermitteln vermögen, ist mithin das Potential resp. das Potentialgefälle der atmosphärischen Elektrizität. Damit ist eine einheitliche Bestimmung ermöglicht; das Potential selbst oder die Spannung der atmosphärischen Elektrizität ist das nach der Zeit t genommene Integral des augenblicklichen Gefälles.

Bei jedem Apparate, der Potentialbestimmungen zu machen erlauben soll, sind zwei Hauptbestandteile zu unterscheiden: Die Auffang- und die eigentliche Messungsvorrichtung. Auf einen hiezu besonders geeigneten Gegenstand soll Elektrizität in einem dem der Luft völlig gleich kommenden Zustande der Spannung übertragen und dieser Gegenstand soll dann mit dem Messungsinstrumente möglichst rasch in unmittelbare Berührung gebracht werden, so dass die nie ganz zu vermeidende Zerstreuung der Elektrizität zu einem Minimum wird.

Ueber Franklins Versuche, die elektrischen Verhältnisse höherer Luftschichten genauer zu untersuchen, wird später bei der Gewitterelektrizität, des näheren zu sprechen sein. Man hatte um diese Zeit und später die elektrische Spitzenwirkung genauer studiert, wobei Gordon [18] und wiederum Franklin [19] vorangegangen waren, und konstruierte nunmehr grossartige Aufsaugungsapparate, unter denen namentlich derjenige von De Romas, welch letzterer auch Franklins Drachenversuch wiederholte, berühmt geworden ist [20].

J. Müller hat jenen ausführlich beschrieben [21]. Doch haftete zuerst diesen grossartigen und prunkvollen Einrichtungen noch sehr der Charakter des Theatralischen an; sorgfältige Studien über Luftelektrizität sind auf diese Weise wohl zuerst von Mazéas im Jahre 1753 angestellt worden [22]. Eine zweckmässige Methode, die Elektrizität der Luft aufzusaugen und sofort an einem neu ausgedachten Elektrometer zu messen, rührt von Romershausen [23] her. Neuerdings hat man lange Stäbe aus Mastix oder Ebonit als sehr zweckmässig zur Aufnahme der in der Luft aufgespeicherten Elektrizität befunden. Auch an die Flamme hatte man als an ein für die Aufsaugung besonders geeignetes Objekt gedacht, und Bennett und Volta zogen dieselbe der gewöhnlichen Spitze vor [24]; in der That hat der Ersatz vieles für sich, und eine Lampe wird noch jetzt mehrfach an der Auffangstange angebracht, um hauptsächlich auch rasch vor sich gehende, kleinere Veränderungen des Spannungszustandes kontrollieren zu können. Endlich ist noch ein drittes Verfahren in Vorschlag gekommen: Statt des auf- und niederfahrenden Stabes kann auch ein rasch aufsteigender und wieder niederfallender Springstrahl zur Ladung des Konduktors, an dem dann die wirkliche Messung erfolgt, verwendet werden. Bei Thomsons Elektrometer, das uns gleich nachher beschäftigen soll, dient, wenn es sich um luftelektrische Messungen handelt, als Konduktor ein isoliert aufgestellter, durch einen Leitungsdraht zwischen Wand und Messapparat mit letzterem verbundener Metallbecher, der das durch einen kleinen Springbrunnen in die Luft gesendete oder auch nur aus einem Reservoir abfliessende Wasser beim Herabfallen in sich

Fig. 29.



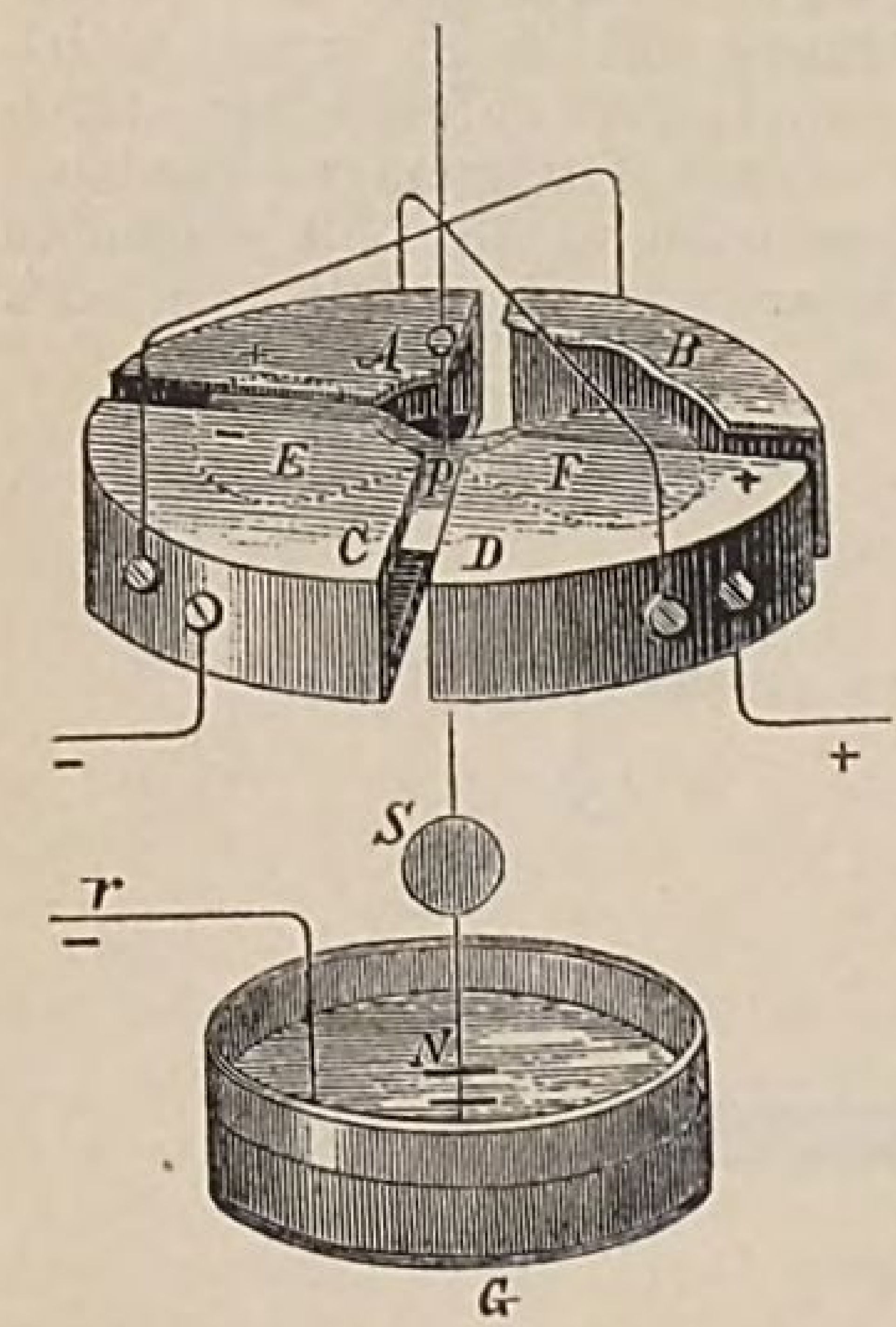
aufnimmt. Exner (s. o.) erkannte Flammen, Wasserstrahlen und brennende Lunten als gleich zweckdienliche Mittel, um den momentanen Spannungszustand der Atmosphäre zu erkunden.

Die Messung der Spannungswerte oder, wie man in früherer Zeit glaubte, der in den elektrisierten Körper aufgenommenen Mengen unwägbarer elektrischer Flüssigkeit vollzog sich zuerst an Coulombs Drehwage [25], an deren Prinzip sich auch Peltiers Elektrometer [26] anschloss, indem nur der Fadentorsion die Richtkraft des Erdmagnetismus substituiert ward. Die Saugspitze ward durch ein Kügelchen vertreten, indem Stäbchen und Kugel isoliert in einer Metallhülse befestigt waren; ähnlich verfuhren auch [27] v. Lamont und Dellmann, welch letzterer die Empfindlichkeit dieser Gattung von Instrumenten bedeutend zu verstärken wusste [28]. Dellmann, der verschiedene Verbesserungen anbrachte, hatte R. Kohlrausch [29] zum Nachfolger, der statt des Coulombschen Kokonfadens mit einem Glasfaden operierte und so einen weit höheren Genauigkeitsgrad erzielte. Die Theorie der neuen Elektrometer hat Röber [30] entwickelt. Von neueren Apparaten haben Palmieris Bifilarelektrometer [31] und W. Thomsons (Lord Kelvins) Quadrantenelektrometer [32] den meisten Beifall gefunden, und zumal Exner (s. o.) erkennt diesem letzteren, an welchem durch Mascart, Stöhrer, Edelmann u. a. noch verschiedene Vervollkommnungen angebracht wurden, die grösste Präzision zu.

Was ersteres Instrument anlangt, welches uns Fig. 29 vor Augen stellt, so wird dabei das Coulombsche Messungsverfahren benützt; nur ist der unifilaren

die bifilare Aufhängung (I, S. 165) vorgezogen worden, welche ja auch ein hohes Mass von Empfindlichkeit verbürgt. Der ganze Apparat ist, die kreisförmige Skale mit eingeschlossen, durch eine Glasumhüllung vor fremden Einflüssen möglichst geschützt. Der Spiegel bei i gestattet die Ablesung im Sinne Poggendorffs. Der Boden d d des Glascylinders ist zentral durchbohrt, und in die Lücke ist die Krystallröhre b b eingeschmolzen, durchbohrt von einem Kupferdrahte c c, der selbst wieder in dem aus Mastixmasse gefertigten Stabe a a achsial enthalten ist. Unten bei c ist horizontal der Metallstab f, am entgegengesetzten Ende von c c ist ein Schüsselchen r von vergoldetem Kupfer angebracht, unter dem sich der gekrümmte Doppelarm e e befindet. Im Inneren von r ist eine kleine Aluminiumscheibe t aufgehängt, durch deren Mittelpunkt i — zugleich Träger des Ablesungsspiegels — ein feiner Aluminiumdraht g g hindurchgezogen ist. Bei i endet, wie die Figur ersehen lässt, die bifilare Aufhängung. Wird nun ein elektrisierter Körper dem Drahte f genähert, so weicht derselbe aus seiner Ruhelage ab um einen Winkel, mit dessen Hilfe Palmieri direkt das Potential der Luftelektrizität erhält. Durch die Decke des Beobachtungsraumes geht der in einer Kulissenführung mit Schnüren hin und her zu bewegende Auffangstab, dessen unteres Ende mit f, dessen oberes mit einem Bohnenbergerschen Elektroskope — Goldblättchen zwischen den Polen einer Trockensäule — in Kontakt gebracht werden kann. Das Elektroskop dient nur zum Kennzeichen des Vorzeichens der gerade vorhandenen Elektrizität. — Den wichtigsten Bestandteil des von Mascart umgeänderten Quadrantenelektrometers stellt Fig. 30 dar [33]. Aus einem im Beobachtungszimmer isoliert aufgestellten Gefässe fliesst Wasser durch ein nach aussen führendes, schwach nach unten gekrümmtes Rohr ab, und rückwärts geht aus der Luft deren Elektrizität auf das Gefäss über. A, B, C, D sind die vier Quadranten einer durch einen Draht mit der Erde verbundenen, in der aus der Zeichnung ersichtlichen Weise doppelt zerschnittenen Metalltrommel, in deren Mittelpunkte ein lemniskatenförmiges Aluminiumblech hängt; an ihm ist unten ein Platindraht PN befestigt, der zugleich das Spiegelchen S trägt. Das untere Ende von PN taucht in das mit Schwefelsäure gefüllte Glasgefäss G, in welchem der Leitungsdraht r vom Rezipienten her ebenfalls sein Ende findet. Das Aluminiumblech nimmt nun auch seinerseits den elektrischen Zustand des Wassergefässes an. Die beiden Quadrantenpaare sind durch eine Batterie, die in der Mitte zur Erde abgeleitet ist und je einen Draht nach A und C, einen zweiten nach B und D entsendet, gleichwertig, aber ungleichnamig geladen worden, so dass, solange G noch nicht in Verbindung mit dem Ladungsgefässe steht, die Lemniskate EF die — aus der Figur ersichtliche — symmetrische Lage zu den beiden Quadrantenpaaren einnimmt. Sowie jedoch der Draht r in das Gefäss G eintaucht und unverzüglich auch EF eine selbständige Ladung empfängt, tritt eine Ablenkung ein, deren Winkelwert mittelst des Spiegels s zu messen ist.

Fig. 30.

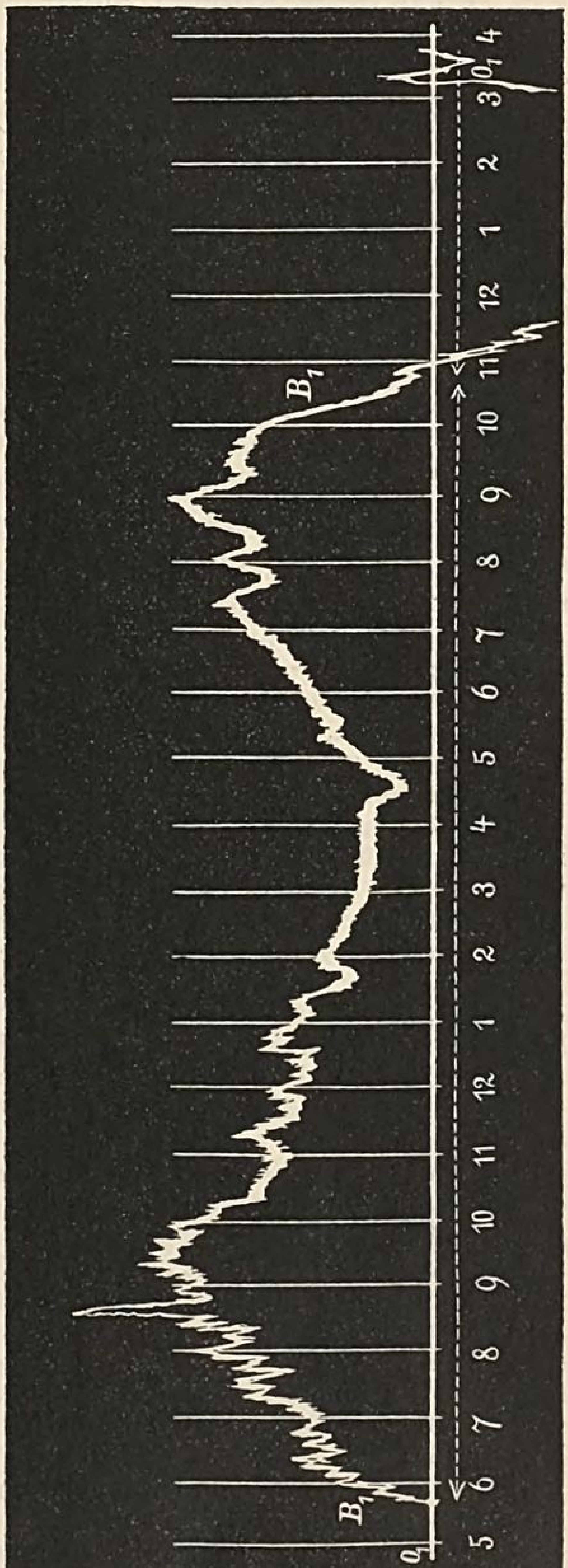


Die Ablenkungen ändern sich unaufhörlich, wenn das Luftpotential selbst sich ändert, und damit ist dann auch die automatische Fixierung des Spannungszustandes der atmosphärischen Elektrizität ermöglicht [34]. Der Spiegel S wirft den Lichtstrahl auf photographisch präpariertes Papier, welches um eine Trommel gewickelt ist, deren Drehungsachse senkrecht zu den Richtungen der Lichtstrahlen steht. Nach Abwickelung des mit Stundeneinteilung versehenen Cylindermantels zeigt sich eine Lichtkurve $B_1 B_1$ (Fig. 31), welche den Gang des Potentialgefälles zu verfolgen erlaubt. Auch der dem Gedanken nach von Lichtenberg [35] angegebene Registrierapparat wird noch

heute, in entsprechender Ausgestaltung natürlich, angewendet, so z. B. in dem berühmten Observatorium zu Kew (I, S. 538).

Wenn man ein feines Pulver auf eine Elektrophorplatte aufschüttet, so sieht man strahlige Gebilde, die sogenannten Lichtenbergschen Figuren, entstehen, welche sofort ersehen lassen, welches Vorzeichen der Ladung zukommt. „Auf der Schellackfläche," so schildert Hoppe [36] Lichtenbergs Verfahren, „ruht ein in einer Kugel endigender, leicht beweglicher, von dem unteren Ende einer Franklinschen Auffangstange abgezweigter Arm, welcher für die Zeit der Anwesenheit des Beobachters in die Höhe gehalten werden kann. Entfernt sich dieser, so setzt er ein Uhrwerk in Bewegung und lässt die Kugel auf dem Schellack schleifen; dann geht die Elektrizität der Stange durch die Kugel in die Scheibe, und bestreut man später diese Scheibe mit dem elektrischen Pulver, so ist man im stande, den Charakter der Elektrizität aus der Farbe, die Stärke aus der Ausbreitung des Pulvers zu bestimmen . . ." Mit dem Thomson-Mascartschen Registrierverfahren kann das soeben beschriebene allerdings kaum den Vergleich aushalten.

Fig. 31.



Für wissenschaftliche Reisezwecke ist ein transportabler Apparat empfehlenswert, der nach Exners Vorschriften [37] bei Schornss in Wien angefertigt wird. Ein kleines, kalibriertes Elektroskop, das von 50 bis zu 200 Volt reicht, lässt sich in der Tasche bergen, und auf einem Stocke lässt sich die Flamme anbringen, welche zur Aufsaugung der Luftelektrizität bestimmt ist.

§. 3. Art und Periodizität der Luftelektrizität. Schon seit geraumer Zeit gilt der Erfahrungssatz: Das Vorzeichen der atmosphärischen Elektrizität ist im allgemeinen das positive. Wenigstens gilt dies, wie Duprez [38] und Mühry [39] feststellten, für heiteres Wetter, während bei bedecktem Himmel und bei Niederschlägen $-E$ häufiger anzutreffen wäre. Jedenfalls ist nach Lord Kelvin [40] der Umfang der atmosphärischen Parzelle, innerhalb deren das negative Zeichen herrscht, stets nur ein kleiner.

Palmieri glaubte den von der Witterung abhängigen Wechsel der Art der Luftelektrizität folgendermassen übersichtlich charakterisieren zu können: „Wenn", sagt er [41], „innerhalb eines den Beobachtungsort konzentrisch einschliessenden Kreises, dessen Halbmesser 70 km erreichen kann, weder Regen noch Hagel oder Schnee fällt, so ist die Elektrizität bei heiterem Himmel immer positiv." Negative

Elektrizität würde also einen Niederschlag innerhalb des umgrenzten Raumes anzeigen. André bemerkt, dass −E bei normalem Wetter wenigstens sehr viel seltener als +E ist; einmal fand M. Smith erstere im Suez-Kanale [42].

Mit der Meereshöhe ändert sich zwar nicht die Art der Elektrizität, wohl aber die Stärke ihrer Spannung. Man nimmt zumeist an, das Potential nehme mit steigender Höhe selbst zu, allein von einem Gesetze dieser Zunahme kann zur Zeit kaum die Rede sein.

Ausgedehnte Untersuchungen von Schübler [43] schienen für Türme die Thatsache allerdings ausser Zweifel zu stellen, und auf Luftfahrten, wie sie insonderheit von Biot, Glaisher und — gerade im Interesse der obschwebenden Frage — von Marcillac unternommen worden waren [44], ergab sich auch eine gewisse Bestätigung. Bei Bergbesteigungen liess sich das Wachstum der Ladung mit der Höhe weit weniger klar erkennen, während wieder auf hoher See, wo infolge fast gänzlicher Abwesenheit von Staub die Bedingungen für derartige Beobachtungen sehr günstige sind, die positive Elektrizität von Magie [45] als stets mit der Höhe wachsend befunden wurde. Die Zunahme war jedoch nicht allerorts eine gleiche.

Seit Schübler [46] ist eine tägliche und eine jährliche Periode des normalen elektrischen Luftpotentiales gesichert. Natürlich steht jede derselben zu den Bestrahlungsverhältnissen der Erde in ursächlicher Beziehung. Bei grösserer Wärme nimmt die Spannung ab, doch hängt diese nicht direkt von der Temperatur ab, sondern es ist vor allem die Erfüllung der Atmosphäre mit Wasserdampf ein sehr massgebender Faktor.

Fortgesetzte Studien, wie man sie Roiti und Pasqualini verdankt [47], haben dargethan, dass zwei Maxima und zwei Minima vorhanden sind, von welchen vier ausgezeichneten Terminen das zweite Minimum sich als am wenigsten konstant erwies. Die Zeiten der Maxima sind $8^3/_4{}^{ha}$ und $8^1/_4{}^{hp}$, die der Minima 3^{ha} und $3^1/_2{}^{hp}$. Nur das relativ konstante Klima des Beobachtungsortes Florenz mag übrigens daran schuld sein, dass dort die Tageskurve so regelmässig verläuft; anderwärts, zumal gegen die Pole hin, machen sich die Jahreszeiten stark geltend. Nach Lemström [48] ist anzunehmen, dass im Winter das erste Minimum um 4^{ha} eintritt, worauf erst um 10^{ha} das erste Maximum folgt; das Minimum ändert seine zeitliche Lage auch im Sommer nicht erheblich, aber das Maximum rückt auf 8^{ha} vor. Durch sehr verschiedene und höchst vertrauenswerte Beobachtungsreihen, unter denen wir nur noch diejenige Magrinis [49] als die Fortsetzung derjenigen von Roiti (s. o.) namhaft machen wollen, darf also die ebenfalls von geachteter Seite vertretene Ansicht, dass nur ein Tagesmaximum und ein Tagesminimum sich sicher nachweisen lasse, als endgültig widerlegt gelten; in diesem Sinne sprechen sich auch die langjährigen Beobachtungen von Kew [50] und Modena [51] aus, welch letztere noch in analogen Erdstrombeobachtungen eine Stütze finden. Durch die sehr sorgfältigen, lange Zeit fortgesetzten Messungen Kirchers [52] in Thüringen, zu denen aber andere europäische und auch indische Resultate gut stimmen, ist folgendes ermittelt worden: Die Abnahme des Potentialgefälles entspricht einer Zunahme des Dampfdruckes. Das Nachmittagsmaximum ist im Winter, das Nachmittagsminimum im Sommer schärfer ausgeprägt. Erhebung über den Erdboden wirkt verwischend auf den Charakter der Tageskurve. So statuierte Exner [53] am Fusse des Schafberges (Oberösterreich) unzweideutig die doppelte Periodizität, und auf dem Gipfel (1780 m) war weder das Morgen- noch das Abendmaximum deutlich zu erkennen.

Man wird hieraus schliessen müssen, dass jene Veränderungen des elektrischen Spannungszustandes, welche der Kurve des Tagesganges deren charakteristischen Stempel aufdrücken, wesentlich in den unteren Luftregionen ihren Sitz haben. Hiemit lässt sich ungezwungen der von Elster und Geitel [54] aus anderen Verhältnissen abstrahierte Schluss vereinigen, dass in hohen Niveaus, welches Vorzeichen dort auch die Luftelektrizität haben möge, keine stark veränderlichen elektrischen Luftmassen mehr sich vorfinden können.

Uebrigens verursachen auch schon verhältnissmässig geringe Höhen, wie nach Cheauveau [55] die des Eiffelturmes, dass die doppelte Periode ihren Charakter einigermassen einbüsst und in eine einfache Periode degeneriert.

Die jährliche Periode ist nicht überall auf der Erde ganz gleich geartet, indem vielmehr die klimatische Eigenart der Gegend nicht ohne Einfluss bleibt [56]. Ein Maximum fällt in den Januar, ein Minimum in den Juni [57], und zwar ist, geometrisch gesprochen, die Ordinate des Maximalpunktes ganz ungleich grösser, als die des Minimalpunktes. Zumal in den Polarländern ist, wie am deutlichsten die dänischen Forschungen in Grönland ergaben [58], die elektrische Aktion im Winter eine unverhältnismässig energischere, als man sie im Hochsommer beobachten kann. Auch da dürfte die Luftfeuchtigkeit den Ausschlag geben. Die Aufgabe, das Potentialgefälle als Funktion des Dampfdruckes darzustellen, hat Exner (s. o.) in einer den Ansprüchen der Beobachter durchaus entsprechenden Weise gelöst. Es ist nämlich, wenn das Gefälle des Potentiales V längs der Normale n bestimmt wird, o aber als Index die Erhebung Null über dem Erdboden anzeigt,

$$\left(\frac{\partial V}{\partial n}\right)_0 = \frac{A}{1 + k p_0}.$$

Hier ist A jenes Gefälle, welches bei gänzlicher Abwesenheit von Wasserdampf vorhanden wäre, k eine empirische Konstante und p_0 der Dunstdruck an der Oberfläche. Daraus wird dann auch durch Diskussion der Poissonschen Differentialgleichung (I, S. 211), die hier die Form

$$\frac{\partial^2 V}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial z^2} = k p_n$$

(p_n Dunstdruck in der längs der Z-Achse gemessenen Höhe n) annimmt, die allgemeine Formel

$$\left(\frac{\partial V}{\partial n}\right)_h = k p_0 (h - {}^1\!/_2\, \alpha h^2 + {}^1\!/_3\, \beta h^3) + \frac{A}{1 + k p_0}$$

abgeleitet, in welcher α und β wiederum konstante Grössen sind.

Einige Fragen, die sich auf die Abhängigkeit des Luftpotentiales vom Wassergehalte der Atmosphäre beziehen, verweisen wir in einen späteren Paragraphen (§. 8), weil sie mit der Theorie der atmosphärischen Elektrizität in engster Beziehung stehen. Nur ein paar empirisch wichtige Momente sollen gleich hier noch Erledigung finden. Wir meinen die Frage nach dem Potentiale der Wolken und nach dem elektrischen Verhalten der Luft in der Nähe von Wasserfällen.

Eine Wolke ist, wenn Palmieris allerdings sehr ausgedehnte Forschungen [59] sich bestätigen, überhaupt nicht elektrisch geladen; sie wird es erst in dem Augenblicke, da die Kondensation ihrer Wasserteilchen vollendet ist. Dagegen dürften die ebenfalls von Palmieri (s. o.) für wahrscheinlich erachteten Beziehungen zwischen Kondensationsprozess und negativer Elektrizität kaum anzuerkennen sein; denn in dem von L. Weber über Mendenhalls umfassenden Bericht [60] erstatteten Referate [61] lesen wir, dass in 126 Fällen das negative Zeichen ohne folgenden Niederschlag und nur in 26 Fällen mit folgendem Niederschlage konstatiert wurde, so dass mithin auch die prognostische Bedeutung atmosphärisch-elektrischer Beobachtungen sehr in Zweifel gezogen werden müsste.

So ungewöhnlich auch, wie wir sahen, das Auftreten von —E sonst ist, so stellt sie doch in gewissen Oertlichkeiten regelmässig sich ein, wie Lenards Untersuchungen [62] dargethan haben. In der Nähe von Wasserfällen ist durchweg negative Elektrizität von stärkerer Spannung vertreten. Das herabfallende Wasser selbst zeigt +E, und die Erzeugung der entgegengesetzten Elektrizität ist eine unmittelbare Konsequenz des Auftreffens des Wasserstrahles auf die unter ihm befindliche Wasserfläche, während der blosse Zerstäubungsakt sich als unwirksam erwies. Ob die entwickelte Elektrizität mit Lenard als

Kontakt-, mit Jordan [63] als Reibungselektrizität anzusehen sei, möge hier unentschieden bleiben. Durch Beobachtungen in den wasserfallreichen Grotten des Karstgebietes vermochten Elster und Geitel [64] nachzuweisen, dass sich die Bildung von —E, ausgehend vom Fusse der Katarakte, ganz ausserhalb des Wirkungsbereiches des oberirdischen Potentialgefälles vollzieht.

§. 4. **Dynamische Elektrizität; Ausgleichsprozesse.** Die Erde selbst ist im allgemeinen negativ elektrisch geladen, und in gleicher Weise wird demnach auch das elektrische Erdfeld (I, S. 523) anzusprechen sein. Umgekehrt ist die Luft, wie wir wissen, Trägerin eines positiv-elektrischen Potentiales. Bei starker Steigerung des letzteren, wie wir sie durch den Namen der dynamischen Luftelektrizität signalisierten (§. 1), ist offenbar die Möglichkeit und weiterhin die Notwendigkeit elektrischer Ausgleiche gegeben, doch braucht sich ein solcher nicht immer ganz in derselben Art zu offenbaren.

Anlässlich der Erörterungen über das Polarlicht ist uns (I, S. 611 ff.) als eine sehr probable Hypothese die entgegengetreten, dass jene Lichterscheinung nur das sichtbare Zeichen eines sehr langsamen Ausgleichsvorganges darstelle, der sich in Ländern, in denen erfahrungsmässig die Luft (S. 135) nur schwach mit Elektrizität geladen ist, sehr regelmässig einstellen muss. Anderwärts, in Zonen, welche durch ein stärkeres elektrisches Luftpotential ausgezeichnet sind, würde der Ausgleich auch andere äussere Formen annehmen, so also unter den Tropen, wo nach Exner [65] die Konstanz des Elektrizitätsgehaltes eine weit grössere, die periodische Tagesschwankung eine weit geringfügigere als bei uns ist.

Auch da jedoch wird von vornherein eine doppelte Art der Ausgleichung möglich erscheinen, eine langsamere und eine abrupte. Die Beobachtung belehrt uns, dass dem in der That so ist. Im ersteren Falle treten fast bloss optische Begleiterscheinungen auf, im anderen neben diesen auch noch sehr entschiedene akustische.

§. 5. **St. Elms-Feuer.** Die Thatsache, dass sich über isoliert in die Luft aufragenden Objekten — Türmen, Schiffsmasten, den Lanzen der Soldaten — Lichtflammen zeigen, war bereits dem Altertum wohlbekannt [66], und bei den griechischen Seeleuten galt diese Lichterscheinung als den Dioskuren Kastor und Pollux geheiligt. An deren Stelle trat im christlichen Mittelalter der heilige Erasmus, italienisch San Elmo, und nach ihm werden solche Lichtbüschel, die ehedem als glückverheissendes Vorzeichen galten und seitdem in angebliche Vorboten von Unglück sich verkehrt haben [67], allgemein St. Elms-Feuer benannt. In manchen Regionen, z. B. in den südamerikanischen Anden, sieht man dergleichen ungemein häufig, anderwärts weit seltener; im Winter, wenn also (s. o.) der Spannungsgrad eine Erhöhung erfahren hat, häufen sich die Beobachtungen, wie denn z. B. [68] in Nordamerika das St. Elms-Feuer vom Januar 1817 geradezu berühmt geworden ist.

Das Phänomen nimmt selbstredend da und dort auch verschiedene Formen an. So sah Prohaska [69] im Gebirge (Gastein) einmal ein phosphoreszierendes Leuchten der Bäume ohne eigentliche Flämmchenbildung; andererseits berichtet ebenderselbe [70] von verschiedenartig gefärbten Flammen, welche sich einmal im Inneren des Schafberghauses (S. 140) zeigten und die Bewohner zuerst um eine Feuersbrunst besorgt machten. Wieder bei einer anderen Gelegenheit kam es zu einem allgemeinen Funkensprühen [71]. Oft tritt ein lebhaftes Ausströmen der Elektrizität aus allen spitz zulaufenden Gegenständen als Nacherscheinung nach einem Gewitter auf, wenn folglich die beiden Elektrizitäten von Erde und Luft keine allzugrosse Spannungsdifferenz mehr aufweisen, und die Beobachter sehen sich mitten in Flammen stehend, während auch die Wirkungen

der strömenden Elektrizität auf den Organismus ähnlich wie bei einem Blitze sich gestalten, nur quantitativ vermindert [72].

Wissenschaftliche Untersuchungen sind insbesondere auf der so günstige Bedingungen darbietenden Sonnblick-Station (S. 83) angestellt worden. Vor allem stellte hier Obermayer [73] die durch seine experimentellen Studien [74] bereits gewonnene Erkenntnis auch erfahrungsmässig fest, dass die ausströmende Elektrizität das eine wie das andere Vorzeichen besitzen kann. Seit Watsons u. a. Untersuchungen über das sogenannte Büschellicht [75] nahm man als ausgemacht an, das St. Elms-Feuer weise stets +E auf; aber schon die aus gewöhnlichen Spitzen ausströmende Elektrizität — und bei Anwendung starker Maschinen genügen schon die ausgestreckten Finger — manifestieren sich die Büschel als plus oder minus elektrisch durch die verschiedene Gestalt. Schneestürme sind stets dem Auftreten von +E förderlich. Elster und Geitel, die auf dem gleichen Tauerngipfel beobachteten, fassen [76] folgendermassen ihre Wahrnehmungen zusammen: „Dieselben bestätigen die schon früher erkannte Regel, dass bei staubförmigem Schnee vorwiegend negatives, bei flockigem positives Elmsfeuer beobachtet wird, sowie das auch schon früher konstatierte Ueberwiegen des negativen zur Winterszeit. Besonders aufallend ist das starke Ausströmen positiver Elektrizität bei Hagelfall.“ Die genannten Forscher gaben auch, da v. Obermayers Methode zunächst nur für die Dunkelheit berechnet ist, ein Verfahren an, die Art der Elektrizität bei diesen Lichtkronen mittelst des Bohnenbergerschen Elektroskopes zu bestimmen (S. 138). Es ist zu wünschen, dass wir bald noch zahlreichere Mitteilungen über die St. Elms-Feuer, und zwar im Sinne des Schemas v. Obermayers [77], erhalten möchten.

Ein leises knisterndes Geräusch wird nicht selten während des Aufleuchtens eines solchen Feuers vernommen, wie ja auch der so nahe verwandten Erscheinung des Polarlichtes solche Begleitgeräusche (I, S. 593) nicht ganz abgestritten werden können. Auch kommt es wohl vor, dass das Ohr vom Ausströmen der Elektrizität etwas bemerkt, nicht aber gleichzeitig das Auge. Zumal im Wüstengebiete kann diese Spezialität langsamer Entladungserscheinungen beobachtet werden.

Nach R. Wolf [78] fühlte sich Saussure bei seiner Montblancbesteigung plötzlich an das ihm vom Manipulieren mit der Elektrisiermaschine her wohl bekannte Knistern erinnert, und Klenze [79] hörte den „singenden“ Ton seines Bergstockes in dem Augenblicke, da er zugleich ein Kitzeln in den Haarwurzeln fühlte, wie es jedem bekannt ist, der sich einmal auf den Isolierschemel stellte. Werner Siemens empfing [80] beim Oeffnen einer Champagnerflasche — die also wie eine Kleistsche Flasche wirkte — auf der Spitze der Cheopspyramide schwache Entladungsschläge; der vom Winde gepeitschte Wüstensand hatte die Flasche geladen. Von bekannten Wüstenreisenden, Ritchie, Duveyrier und Rohlfs [81], sind auch Funkenerscheinungen, sogar bei Tage, gesehen worden, welche den St. Elms-Feuern an die Seite gestellt werden dürfen.

§. 6. **Gewitter, Blitz und Blitzschutz.** Was O. v. Guericke (S. 135) schüchtern begonnen, führten Wall und Winkler weiter [82], und letzterer warf, mit dem Studium der Verstärkungsflasche [83] (s. o.) von Gralath, v. Kleist und Kunaeus beschäftigt, die schwerwiegende Frage auf [84]; „Ob Schlag und Funken der verstärkten Elektrizität für eine Art des Donners und Blitzes zu halten sind?“ Durch Franklins weiter unten zu besprechende Versuche wurde diese Frage endgültig bejaht. Falls zwischen zwei entgegengesetzt geladenen Regenwolken oder zwischen einer solchen dem Kondensationsmomente nahe gerückten Wolke und der Erde die Spannung der dynamischen Elektrizität ein gewisses Mass überschreitet, so erfolgt eine Reihe jäher Ausgleiche, die sich optisch als Blitz, akustisch als der darauf folgende Donner zu erkennen geben.

Obwohl das nordwestliche Griechenland eines der gewitterreicheren Länder der Erde ist [85] und Fulguralorakel dortselbst eine hervorragende Rolle unter den Kultusstätten der alten Helenen spielten [86], hat man doch theoretisch sich fast gar nicht mit der Sache beschäftigt, und was Aristoteles über Blitz und Donner aussagt [87], konnte auch damaligen Ansprüchen kaum genügen. Der Gewitteraberglaube, der noch in unseren Tagen nachwirkt, ist nach Hellmann [88] babylonischen Ursprunges, und die Byzantiner haben mit ihren Brontologien (I, S. 455) die Vermittelung besorgt.

Ehe wir vom Blitze eingehender handeln, bedarf das sogenannte Wetterleuchten einiger Erörterung. Dasselbe wird jetzt allseitig als wirklicher Blitz oder Reflex entfernter Blitze anerkannt. Neuerdings sind alle einschlägigen Fragen durch Meinardus [89] einer gründlichen Untersuchung unterzogen worden.

Derselbe unterscheidet zwischen objektivem und subjektivem Wetterleuchten; ersteres, wenig verbürgt, würde unter die Kategorie der sogenannten Flächenblitze (s. u.) fallen. Für gewöhnlich kommt nur die zweite Art in Betracht, die einen Blitz ohne Donner darstellt. Letzterer hat nach Meinardus, der sich auf Mohns Resultate [90] über die Hörbarkeit der Signale mit dem Nebelhorne stützt, dann einen geringen Bereich der Vernehmbarkeit, wenn ein Gewitter sich vorbereitet oder im Abziehen begriffen ist. Man darf sich also nicht wundern, wenn ein nicht einmal besonders fernes Gewitter nur dem Gesichtssinne, nicht aber auch dem Gehörsinne sich fühlbar macht. Zudem aber muss man auch beachten, dass, den Ermittelungen v. Bezolds [91] zufolge, auch Lichtreflexe auf Entfernungen gesehen werden können, bis zu welchen der Schall unter gar keinen Umständen sich zu verbreiten vermag. Hier nur zwei Beispiele. Ein Beobachter in Meiningen sah als fernes Wetterleuchten im August 1880 die Blitze eines über Ulm hinziehenden Gewitters, und Blitze, welche in der lombardischen Ebene niedergingen, haben sich noch über dem Südhorizonte von Orten nördlich der Donau durch Aufzucken eines roten Lichtscheines am Himmel kenntlich gemacht.

Die Fortpflanzung der Gewitter bleibt nebst allen den Problemen, welche bei der Bildung einer Gewitterwolke hereinspielen, dem nächsten Kapitel vorbehalten. An dieser Stelle interessieren uns lediglich die elektrischen Entladungen. Die neuere Gewitterphysik unterscheidet, nach dem Vorgange Aragos [92], dreierlei Arten von Blitzen: Linienblitze, Flächenblitze und Kugelblitze. Zu den ersteren gehören die gewöhnlichen Zickzackblitze; als eine Spezialität des Kugelblitzes werden wir die Perlen- oder Rosenkranzblitze kennen zu lernen haben.

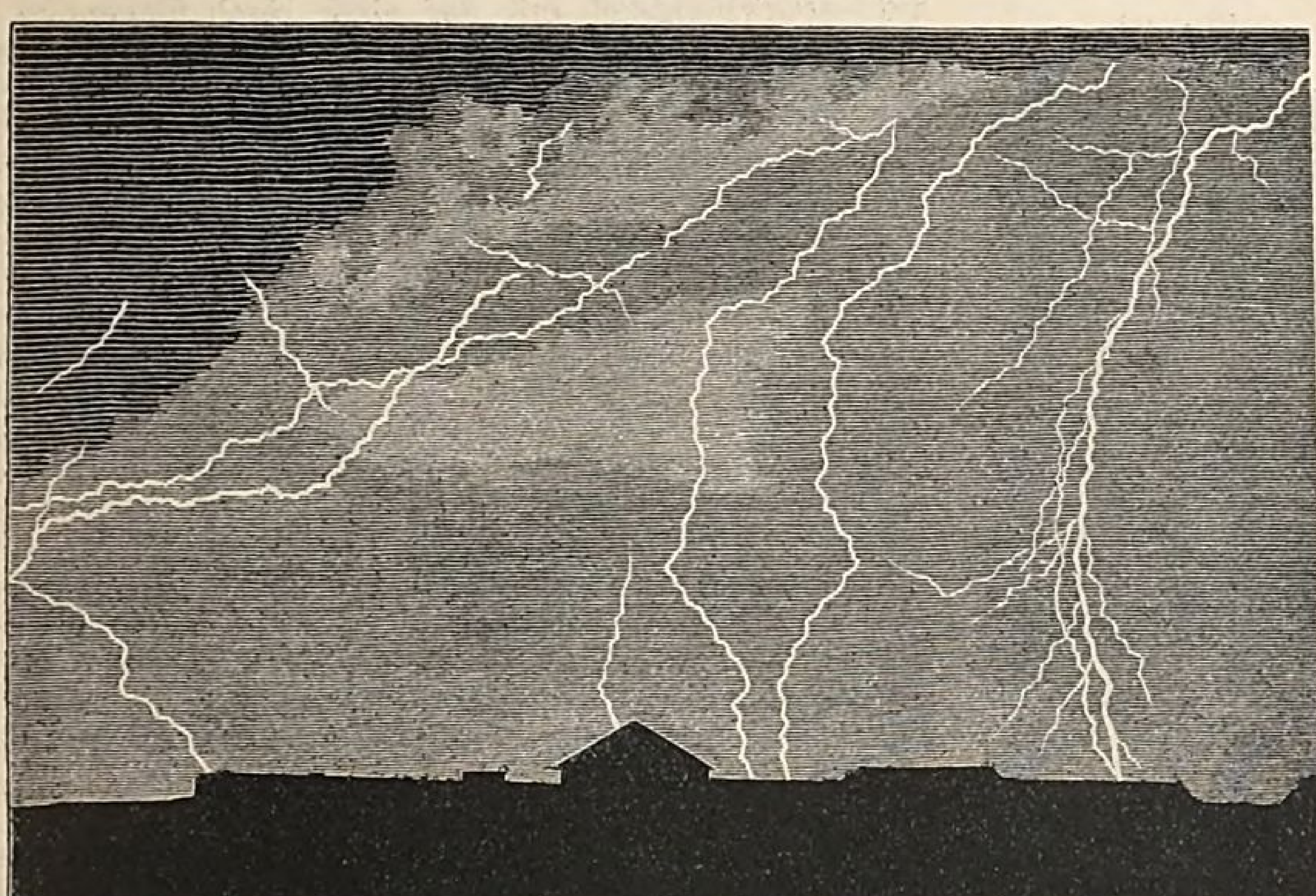
Oben (in §. 3) haben wir gesehen, dass eine Wolke zunächst noch gar keine namhafte Elektrizitätsladung in sich birgt, dass vielmehr dieselbe erst dann bemerkbar wird, wenn die Kondensation zunimmt. Wenn dann zwischen einer solchen, fast stets positiv geladenen Regenwolke und der mit negativer Elektrizität geladenen Erde als Dielektrikum sich nur noch eine wenig mächtige Luftschicht befindet, so springen mächtige Funken in stetiger Reihenfolge über, und wir bekommen den Eindruck des Blitzes. Es kann jedoch auch vorkommen, dass zwei mit entgegengesetztem Vorzeichen des elektrischen Potentiales behaftete Wolken nahe genug aneinander geraten, um einen Ausgleich zu ermöglichen, und dann springt der Blitz von Wolke zu Wolke.

Auf ein gleitendes Wandern des elektrischen Funkens in den Wolken ist mehrfach aufmerksam gemacht worden; v. Lepel [93] hat u. a. solche Beobachtungen angestellt und im Experimente nachzubilden versucht, worauf wir weiter unten zu sprechen kommen, und auch v. Frank [94] überzeugte sich im Hochgebirge von der Realität dieser Thatsache. Letzterem Autor zufolge kann das elektrische Fluidum ganz gewaltige Sprünge durch die Luft machen, obwohl anscheinend bessere Leiter in grösserer Nähe sich darbieten; einmal wurde eine Blitzlänge von 49 km bemerkt. Auch schleifenförmige Blitze kommen nach dem Zeugnisse zuverlässiger Gewährsmänner vor [95].

Der Flächenblitz unterscheidet sich vom Linienblitze wahrscheinlich nur insofern, als für ihn der Widerstand des dielektrischen Mediums sich leichter überwinden lässt; es handelt sich da also nicht bloss um eine einzelne Funkenspur, sondern um eine ganze Anzahl von Funkenregen, und der Gesamtheit derselben entspricht ein diffuser Lichtschein. Die Versuche v. Lepels [96], der den Funken durch eine mehr oder weniger mit Flüssigkeit gefüllte Röhre schlagen liess, geben hiefür einige Anhaltspunkte. Flächenblitze sind häufig rosa gefärbt, im Gegensatze zu der hellweissen Farbe der meisten Zickzackblitze, und in der That stellt sich die gleiche Farbenänderung ein, sobald man durch Verstärkung der durchschlagenen Flüssigkeitsschicht für Verminderung des Widerstandes gesorgt hat. Uebrigens will Krebs [97] auch anderweite Färbungen der Blitze gesehen haben, so dass kein Teil des Spektrums ganz ausgeschlossen bliebe.

Die Blitzphotographie hat uns auch Aufschluss über die Wege geliefert, welche die überspringenden Funken in der Luft einschlagen. Wir besitzen namentlich von Kayser und Hoffert [98] wertvolle Mitteilungen solcher Art, welche

Fig. 32.



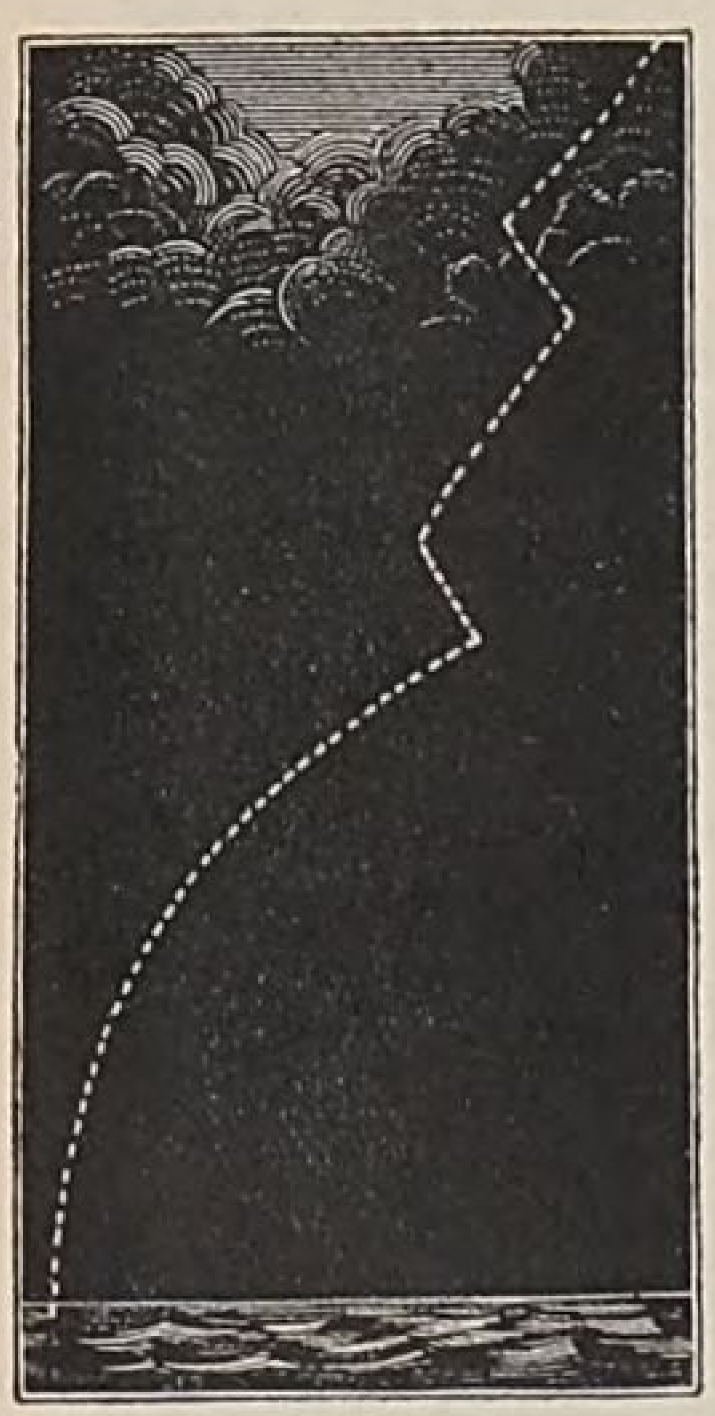
die auffallende Verzweigung dieser jähen Entladungen zu überblicken gestatten. Nach dieser Seite hin sind auch die Photogramme Selingers bemerkenswert, deren eines in Fig. 32 nach v. Urbanitzky [99] reproduziert ist. Die grossen Funken, welche man der Holtzschen Influenzmaschine entlockt, weisen ein ähnliches Gefüge auf; sie sind einem wild durcheinander gewirrten Fadenknäuel zu vergleichen. Die da und dort erwähnten dunklen Blitze haben wohl keine Realität, sondern nach Hofferts (s. o.) Erklärung, zu welcher sich auch Clayden [100] bekennt, sind dieselben nur Konsequenzen einer allzulangen Expositionsdauer der photographischen Platte. — Mit dem Spektrum der Blitze beschäftigen sich, hauptsächlich an die mit einem Taschenspektroskope erlangten Aufnahmen von Kundt [101] sich haltend, Schellen [102] und v. Urbanitzky [103]. Das Blitzspektrum ist kein einheitliches, sondern es setzt sich zusammen aus einem Funkenspektrum heller Linien, unter denen die blaue Stickstofflinie am meisten hervorleuchtet, und aus einem kontinuierlichen Spektrum mit gleichmässigen Banden. Mitunter hob sich bei ein und demselben Blitze zuerst das Linien- und dann das Bandenspektrum deutlich heraus; im übrigen scheint das Spektrum erster Art mehr den Zickzackblitzen, dasjenige zweiter Art mehr den Flächenblitzen anzugehören. Ob man hieraus den weitergehenden Schluss zu ziehen berechtigt ist, Linienblitze seien mit Funkenentladungen, Flächenblitze

dagegen mit Büschel- oder Glimmlichtentladungen auf die gleiche Stufe zu stellen [104], wagen wir nicht zu entscheiden.

Den Kugelblitzen suchte eine hinter uns liegende Zeit, obwohl es auch an gewichtigen Stimmen für das Gegenteil nicht fehlte, doch die Realität abzustreiten; die unleugbar vorliegenden Beobachtungen suchte man durch Verwechselung mit Feuerkugeln (I, S. 88) oder auch durch subjektive Nachbilder auf der Netzhaut zu erklären. Wesentlich durch Köhl [105], v. Urbanitzky [106] und Sauter [107] ist aber festgestellt, dass Blitze der bezeichneten Art wirklich vorkommen. Wahrscheinlich hat man es mit einer besonders langsamen Entladung der Elektrizität zu thun, wenn nämlich die durchschlagene Zwischenschicht nur eine ganz geringe Dicke besitzt.

Jedenfalls ist das Auge befähigt, den Weg der glänzenden, aber meist keine flammende Spur hinter sich lassenden Kugel zu verfolgen; Wartmann verglich die Geschwindigkeit mit der eines rasch fliegenden Vogels [108]. Die Kugel platzt zuletzt mit heftigem Knalle. Die zahlreichen Beobachtungen, welche zumal v. Urbanitzky [109] und H. J. Klein [110] gesammelt haben, kommen dahin überein, dass ein überwältigend grossartiges Naturereignis vorliegt. Sehr merkwürdig erscheint der von dem römischen Physiker Mancini wahrgenommene Umstand [111], dass ein gewöhnlicher Blitz induzierend auf eine nahe befindliche Telegraphenleitung wirkte, und dass dann aus deren Ende ein Kugelblitz heraussprang. Reimann, der in seinem schlesischen Wohnorte Hirschberg sehr gute Gelegenheit zur Beobachtung des dort häufigeren Phänomens hatte [112], konstatierte auch in einem Falle [113] die Umwandlung eines Linienblitzes zuerst in einen Kugelblitz und dann in einen Perlblitz. Vom Wesen des letzteren gibt Fig. 33 eine Anschauung. Man gewinnt den Eindruck, dass eine grosse Anzahl kleiner leuchtender Kugeln an einem mehrfach gebogenen Faden aufgereiht sei; wenn sich zumal diese Perlenschnur auf dunklem Gebirgshintergrunde projiziert zeigt, wie es der Verf. einmal sah, so ist der Anblick ein imposanter.

Fig. 33.



Es liegt nicht ferne, den Rosenkranzblitz als eine mehr subjektive Gesichtserscheinung aufzufassen. Pockels [114] denkt jedoch daran, dass das Nachleuchten einer Blitzbahn im Spiele sei; er fand, dass sich dasselbe nicht kontinuierlich über den ganzen vom Blitze zurückgelegten Weg erstreckte, sondern in einer Reihe diskreter und gleichabständiger Punkte stattfand, so dass mithin in der That das Bild einer leuchtenden Perlenschnur entstand. Uebrigens hat man auch durch das Experiment den Kugel- und Perlblitz darzustellen gesucht, und es ist Planté, der die Kraft einer Voltaschen Säule durch die sogenannten Sekundärströme zu verstärken gelehrt hat, trefflich gelungen [115], überraschende Analogien im Laboratorium zu erzielen. Er ging dabei von folgender Voraussetzung aus: Kugelblitze sind wirkliche Kugeln aus verdünnter, glühender Luft und aus Gasen, welche durch Zerlegung des atmosphärischen Wassers sich gebildet haben und sich gleichfalls im Zustande des Glühens befinden. Die Versuche Plantés über den wandernden elektrischen Funken zeigten, dass allerdings ein solcher Funke von sphärischer Gestalt sich langsam genug bewegen kann, um in seinen oft fast launenhaften Wegen genau verfolgt werden zu können; „es genügt zu diesem Zwecke die Entstehung eines Funkens dynamischer Elektrizität im Zustande hoher Spannung zwischen den beiden Belegungen eines Kondensators, dessen isolierende, sehr dünne Lamelle leicht durchbrochen werden kann oder von vornherein einen Riss besitzt“ [116]. Und solche Vorbedingungen können in der Wolke recht wohl gegeben sein. Wiewohl noch keineswegs von einer unwiderleglichen Beweiskraft solcher Experimentaluntersuchungen, wie man sie Planté und v. Lepel verdankt, gesprochen werden kann, so dürfte doch durch

dieselben ein Fingerzeig zum besseren Verständnis des Wesens der Blitze gegeben sein.

Völlige Immunität gegen Gewitter und Blitzschlag geniesst kein Land der Erde; die noch von Arago (s. o.) für gewitterfrei erklärte nördliche Polarzone ist dies nach v. Danckelman [117] durchaus nicht. Ein Gleiches gilt von der Sahara. Nahezu allenthalben tritt auch eine gewisse Jahresperiode der Gewittererscheinungen hervor, wenn auch die Art der Periodizität nicht durchweg die gleiche ist. Des ferneren lässt sich nicht verkennen, dass, wenigstens soweit die zündenden Blitze in Frage kommen, eine gleichmässige Austeilung derselben durch die verschiedenen Jahrgänge nicht zugestanden werden kann, dass vielmehr in deren Frequenz sich zeitliche Maxima und Minima nachweisen lassen.

Nach v. Danckelman (s. o.) erlebte Kapitän Johannsen am 23. September 1873 in Westspitzbergen ein regelrechtes Donnerwetter. Was sodann die grosse afrikanische Wüste anlangt, so kommt es dort (S. 143) wegen der von Rohlfs [118] ausführlich geschilderten, stetigen Ausgleichsprozesse freilich selten zur Gewitterbildung, aber gleichwohl erzählt Nachtigal [119], dass der an sich nicht häufig vorkommende Regen regelmässig von elektrischen Erscheinungen begleitet sei.

Eine sehr verdienstliche Tabelle der mittleren jährlichen Gewitterhäufigkeit hat man von Klein [120]; dazu kamen Ergänzungen von Fritz [121]; danach haben wir für gewisse Orte auffallende Gegensätze, wie folgende Beispiele, zumal für den Kalmengürtel, zeigen:

Buitenzorg (auf Java) 160 G. i. J.	Port Said (am Suez-Kanal) 4 G. i. J.
Banjuwanja (ebenda) 110 (Kl.); 96 (Fr.).	Trondhiem 3.
St. Anna (auf Luzon) 70.	Upsala 5.

Man wird daraufhin folgendes aussagen können: Der feuchte hinterindische Archipel ist ungemein gewitterreich; Wüstengebiet und hoher Norden werden nur wenig von Gewittern heimgesucht. Bayern ist durch v. Bezold und Lang mit einem trefflich arbeitenden Gewitterdienste ausgestattet worden [122], auf welchen uns das nächste Kapitel zurückführen wird; für Frankreich ist Rottées Zusammenstellung [123] zu beachten; die österreichischen Alpenländer sind uns durch Prohaskas Statistik [124] bekannt. Für die Ostalpen fällt das Maximum der Gewitterfrequenz in den Juni, während es sich im Bereiche der höheren Alpenthäler bis Ende Juli hinausschiebt. Auch eine doppelte Tagesperiode ist unverkennbar, mag auch das sekundäre Maximum oft nur unklar ausgesprochen sein, weil schwächere Nachtgewitter leicht den Beobachtern entgehen.

In den achtziger Jahren machte sich, nachdem bis dahin eine Steigerung der Blitzgefahr nachgewiesen werden konnte, allmählich wieder eine Abnahme der Frequenz zündender Blitze bemerklich. Die Arbeiten von Gutwasser [125], Holtz [126] und v. Bezold [127] hatten die letztere Thatsache ausser Zweifel gestellt, und es war zumal die in Bayern entstandene Untersuchung von Wert, weil dieses Königreich in den Akten der seit Jahrzehnten staatlich geleiteten Brandversicherungskammer ein vorzügliches Material zur Verfügung stellen konnte. Nach 1884 konnte v. Bezold versichern, dass für ein Gebäude die Wahrscheinlichkeit, vom Blitze gefährlich getroffen zu werden, sich gegen die Zeit vor vierzig Jahren verdreifacht habe, aber ein Rückgang der Gefahr schien ihm schon eingetreten zu sein, und Freyberg stellte [128] bald nachher fest, dass in Sachsen die Zahl der einschlagenden Blitze sich zwar seit 1860 stark vermehrt, die Gefährlichkeit derelben hingegen ebenso vermindert habe, weil kalte Schläge, die nicht zünden, jetzt fast die Regel bildeten. Damit stimmen Kassners Angaben [129] überein, welche einer etwas späteren Zeit entstammen. Für das Gebiet des mitteldeutschen Feuerversicherungsverbandes hat neuerdings die Zahl der zündenden Blitze entschieden abgenommen. Industriebezirke pflegen am meisten gefährdet zu sein; doch wohl deshalb, weil die Fülle der von den Kaminen abgegebenen Verbrennungsprodukte Friktionen aller Art und damit auch eine Veränderung der elektrischen Ladung der Atmosphäre bedingt. Der Weinberg-Andriesschen

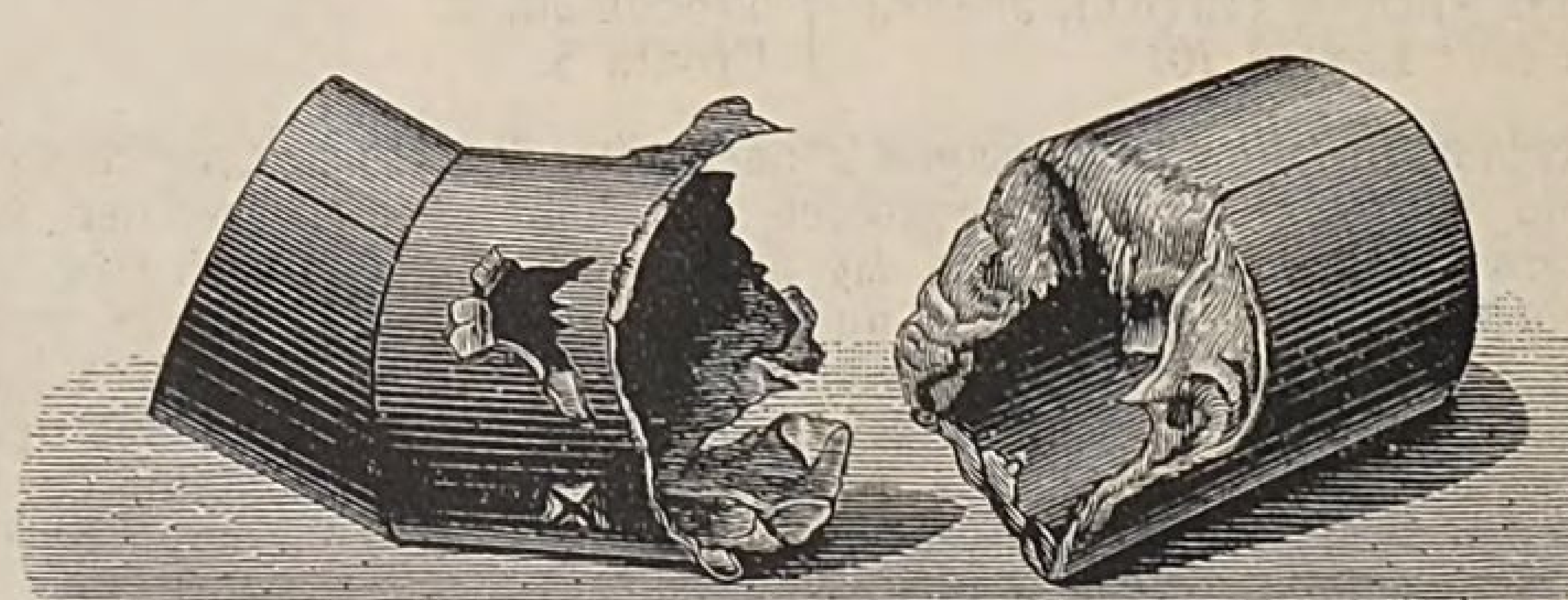
Hypothese [130] wäre nicht sowohl die Häufigkeit, sondern vielmehr die Heftigkeit der Gewitter gewachsen, und zwar gleichen Schritt haltend mit der Zunahme der grossen Fabrikanlagen.

Auf dem freien Meere fallen alle derartigen Störungen weg, und dort wird man also den Tages- und Jahresgang der Gewitterelektrizität am besten kontrollieren können. Das hat Meinardus [131] für den nördlichen Indischen Ozean gethan, indem er sich dabei ausschliesslich auf die Irrtümern am wenigsten unterworfenen Donnerbeobachtungen stützte. Es prägte sich, wenn zumal die dem Festlande und grossen Inseln benachbarteren Meeresteile separat betrachtet wurden, ein ozeanischer Typus charakteristisch aus, der durch ein Mitternachtsmaximum ausgezeichnet ist.

Völlig verständlich werden die zahlreichen hier nur gestreiften Thatsachen erst im VI. Kapitel, wenn auch die mechanischen Bedingungen der Gewitterbildung und Gewitterfortpflanzung zur Sprache gelangen. Wir brechen deshalb hier ab und wenden uns dem Studium der vom Blitze an terrestrischen Gegenständen hervorgebrachten Wirkungen zu. Die Physik lehrt, dass jede elektrische Entladung auch als eine Kraftquelle anzusehen ist, und so werden wir, wenn ein Blitz einschlägt, stets auch auf kinetische Effekte rechnen dürfen, welche sich bis zu den furchtbarsten Zerstörungen steigern.

An und für sich sollte man meinen, der elektrische Funke wähle stets den kürzesten Weg, und thatsächlich werden ja auch isolierte Objekte, an denen sich die Spitzenwirkung bethätigen kann, sehr leicht getroffen. Türme, Fabrikschornsteine, hohe Bäume sind das gewöhnliche Ziel des Blitzes, obwohl auch da keine feste Regel sich aufstellen lässt. Tritt aber das elektrische Fluidum erst in

Fig. 34.



das Innere eines Gebäudes ein, so folgt es oft den anscheinend seltsamsten Wegen, wie man dies schon aus den älteren Veröffentlichungen eines Reimarus [132], P. Günter [133], v. Yelin [134] ersehen kann. Auch Oertlichkeiten unter der Erde sind nicht sicher vor dem Blitze, wie die Berichte von Reich [135] aus sächsischen und von O. Hoppe [136] aus Harz-Bergwerken beweisen. Dass auch lose Massen den Blitz zu sonderbaren Bahnen veranlassen können, erhellt aus Deschmanns Beschreibung [137] eines vom Blitze hart mitgenommenen Getreideschobers, indem sich da deutlich vom Hauptstrahle drei Nebenstrahlen absonderten. Metallröhren werden teils zerrissen, teils zerschmolzen, wie man aus Fig. 34, entnommen dem Werke v. Urbanitzkys [138], ersieht. Auf die besonderen Umstände kommt es an, ob die mechanische Vernichtung über die thermische überwiegt oder umgekehrt. Von den magnetischen Blitzwirkungen [139] hatten wir schon früher (I, S. 576) zu handeln.

Wichtig für Physik und Pflanzenphysiologie sind die Wahrnehmungen, welche an vom Blitze getroffenen Bäumen gemacht wurden. Schon das ist auffällig, dass unter sonst gleichen Umständen die Gefahr des Einschlagens nicht für alle Baumarten die nämliche ist. Göppert [140] schrieb der Rotbuche eine gewisse Blitzimmunität zu; Feye [141] bestätigte dies, und bei neuerer Durchforschung des gleichen in Nordwestdeutschland gelegenen Waldkomplexes [142] fand sich, dass von 40 Blitzschlägen 25 Eichen und nur 2 Buchen getroffen hatten. Die

Eiche ist jedenfalls ein blitzgefährlicher Baum. Jonescos umfängliche Untersuchungen [143] scheinen festgestellt zu haben, dass der Gehalt des Holzes an fetten Oelen, welche schlechte Elektrizitätsleiter sind, für den sehr verschiedenen elektrischen Widerstand der Hölzer massgebend ist; je grösser die Leitungsfähigkeit, um so leichteres Spiel hat der Blitz. Auch die Gestalt der Baumkrone und die Beschaffenheit des Bodens sind zuverlässig nicht ohne Einfluss [144]. Wenn der Funke in den Baum eingedrungen ist, so wird nach F. Cohn und Lakowitz [145] sofort die gesamte Flüssigkeit der zwischen Rinde und Splint befindlichen, wasserreichen Kambiumschicht durch die sich entwickelnde Hitze zum Verdampfen gebracht; der nun gebildete Wasserdampf wirkt expansiv und sprengt an den am wenigsten widerstandsfähigen Stellen die Rinde in langen Streifen ab. Gemeiniglich haben diese Streifen eine spiralige Anordnung, welche übrigens auch durch Colladons sehr eingehende Studien [146] an beschädigten Pappeln und Eichen noch nicht als völlig geklärt gelten kann.

Auch Verletzungen und Tötungen von Menschen kommen im ganzen öfter vor, als man glauben möchte, freilich aber nicht überall gleich häufig; in Afrika z. B. sind solche Fälle eine grosse Rarität [147]. Hellmann findet [148], dass auf eine Million Menschen in Preussen, Baden, Frankreich und Schweden resp. 4,4, 3,8, 3,1, 3,0 Todesfälle durch Blitzschlag kommen, und dass mehr Personen männlichen als weiblichen Geschlechtes zum Opfer fallen, wohl weil das erstere mehr im Freien anzutreffen ist. Gar oft bildet nicht der Blitz selbst das todbringende Moment, sondern noch unheilvoller wirkt der Rückschlag. Im benachbarten Leiter, dem Erdboden, wird ein Induktionsstrom ausgelöst, und bei der plötzlichen Scheidung und Wiedervereinigung der entgegengesetzten Elektrizitäten im Inneren des tierischen oder menschlichen Körpers erfährt dessen Nervensystem eine letale Lähmung. Auch dann, wenn Heilung erfolgt, bleiben vielfach nervöse Störungen zurück, und auf der Haut erinnern verzweigte, mit Blut unterlaufene Liniengebilde an die Wanderung des elektrischen Funkens [149]. Die mit Farnkraut zu vergleichenden Blitzzeichnungen definiert Hildebrandsson [150] als Lichtenbergsche Figuren (S. 139).

Schon von alters her suchte sich der Mensch gegen die Blitzwirkungen auf mancherlei Arten zu schützen. Der noch jetzt weit verbreiteten Dorfsitte, bei heranziehendem Gewitter die Kirchenglocken zu läuten, liegt nicht allein eine fromme Anschauung zu Grunde, sondern man gab sich dereinst auch in wissenschaftlichen Kreisen dem Wahne hin, die elektrische Materie durch den Glockenklang zur Verteilung bringen zu können, und wenn sich der Klang der Glocke als zu schwach erwies, so appellierte man an den kräftigeren Knall des Geschützes. Ob rationellere Blitzabwehr durch Metallstangen schon im Altertum bekannt war, ist eine umstrittene Frage; wirklich erkannt wurde die Bedeutung des Blitzableiters erst durch Divisch und Franklin.

Der litterarische Kampf gegen das Gewitterläuten wurde im XVIII. Jahrhundert vorzugsweise von Mitgliedern der kurbayerischen Akademie geführt; man hatte Ursache dazu, weil der Gewitteraberglaube manche Unzuträglichkeiten schuf und u. a. ein Dorf das andere anklagte, weil es durch eine besonders wirkungsvolle Glocke Donner und Blitz von sich abgewandt und in die andere Gemarkung hinübergejagt habe [151]. Die Schriften und Abhandlungen von Poezinger [152], v. Boslarn [153], J. N. Fischer [154], J. Weber [155] sind in der Hauptsache auf den nämlichen Ton gestimmt, indem nur die Unmöglickeit, akustisch auf die Elektrizität einzuwirken, in der späteren Zeit entschiedener hervorgehoben wird. Namentlich auch die Akademiker Arbuthnot [156] und Imhof [157] erklärten sich deshalb gegen das Läuten, weil die schwingende Glocke anziehend auf die Gewitterelektrizität wirke — ein Verfallen in das entgegengesetzte Extrem, gegen das sich eine umsichtige Prüfung der einschlägigen Verhältnisse durch den klugen Meteorologen Hemmer [158] (S. 3) wendete, der den Glockenklang für absolut neutral, ein Verbot der altehrwürdigen Sitte für verfehlt erklärte. Einen gewissen Nutzen des Abfeuerns von Kanonen gegen heraufziehende Gewitter behaupteten sowohl Arbuthnot, als auch eine noch jetzt lesenswerte Erörterung des Schutz-

problemes von Placidus Heinrich [159]; ersterer riet, sofort beim starken Fallen des Barometers „die Stücke zu lösen" [160]. Es sollen auch wirklich in den österreichischen Alpenländern neuerdings gelungene Versuche über die Abwehr von Gewittern durch Böllerschiessen vorgenommen worden sein (?).

Die Meinung, schon die Alten hätten die Blitzableiter gekannt, war einst eine weit verbreitete; von Lichtenberg [161], der darüber mit dem berühmten Orientalisten Michaelis korrespondierte, und von Ostertag [162] liegen zustimmende Aeusserungen aus früherer Zeit vor, und später hat Munk [163] die Frage von neuem aufgenommen. Die spitzen Metallstangen, welche nach dem Berichte des Flavius Josephus das Dach des salomonischen Tempels zierten, sollten Blitzschutz bewirkt haben; Lichtenberg erhebt mancherlei Einwände, die aber weniger von physikalischer Natur sind. Gewiss ist, dass Prokop Divisch schon 1754 einen wirklichen Blitzableiter zu stande gebracht hat [164], ohne von Franklins damals schon im Gange befindlichen Wolkenversuchen Kunde zu haben, allein praktische Folgen hatte jene Erfindung nicht, und der Ruhm des amerikanischen Physikers als dessen, dem die erste folgenreiche Konstruktion eines Blitzableiters gelang, wird durch die unleugbare Priorität jenes in stiller Abgeschiedenheit lebenden mährischen Geistlichen kaum geschmälert.

Schon im Jahre 1749 stand Franklin das Wesen seiner Erfindung klar vor der Seele [165], wiewohl der bekannte entscheidende Versuch, einen mit fusslanger Drahtspitze versehenen Drachen gegen eine Gewitterwolke steigen zu lassen, und aus einem an die Schnur des Drachens gebundenen Metallschlüssel Funken zu ziehen, erst 1752 angestellt ward [166] — gleichzeitig mit ganz ähnlichen Experimenten d'Alibards und De Lors in Frankreich [167]. Im September jenes Jahres brachte Franklin auf seinem Hause eine Wetterstange an, und ein mit ihr in Verbindung gesetztes elektrisches Glockenspiel sollte als akustischer Indikator dienen.

Damit war der Blitzableiter (paratonnerre; conductor) dem Wesen nach fertig. Eine Metallstange ragt in die Luft, und von ihr führt ein Leitungsdraht in die Erde, so dass der Blitz gefahrlos in den Boden abgeführt wird. Am besten endigt der Draht in einer Metallplatte, welche an einer feuchten Stelle ziemlich tief eingegraben ist. Franklins unitarische Elektrizitätstheorie gestattete ihm allerdings nicht, den Wert seiner grossen Erfindung vollständig zu überschauen, wogegen die von Du Fay und Symmer vertretene dualistische Lehre [168], der auch in der Hauptsache die Gegenwart noch beipflichtet, eine wirkliche Einsicht in den Vorgang ermöglicht. Der Blitzableiter wirkt zuerst neutralisierend auf die in den Regenwolken sich ansammelnde Elektrizität und verhindert durch sein blosses Dasein manche abrupte Entladung. Im übrigen aber macht sich dann, wenn die Spannung eine gewisse Grenze überschritten hat, die Spitzenwirkung geltend, und der überschlagende Funke geht, der sich ihm darbietenden Leitung folgend, in die Erde über, ohne dass, falls diese Leitung eine in jeder Hinsicht vollkommene ist, zu irgendwelchen Beschädigungen Anlass gegeben wäre.

Darauf also, dass nicht irgendwo eine Unterbrechung sich zeige, kommt alles an, denn ein schadhafter Ableiter kann weit leichter Unheil bringen, als das gänzliche Fehlen einer Schutzvorrichtung. Als ein furchtbares Wintergewitter am 6. Januar 1865 zu gleicher Zeit in Würzburg, in dem württembergischen Schlosse Hohen-Rechberg, in mehreren Kirchen Mittel- und Unterfrankens zündete und die Spitze des einen Turmes der St. Lorenzkirche in Nürnberg in Flammen setzte, wurde für letzteres Vorkommnis allseitig die Mangelhaftigkeit des auf dem Turme angebrachten Blitzableiters verantwortlich gemacht. J. Müller [169] und Schellen [170] zeigen, wie man die galvanometrische Prüfung der Leitungsdrähte vorzunehmen habe, um allfallsige schlechte Stellen ausfindig zu machen. Ganz besonders gefährdet erscheinen bei Gewittern Telegraphen- und Telephonanlagen,

welche selbst dann, wenn das Einschlagen des Blitzes hintangehalten ist, doch oft zu vorübergehender Diensteseinstellung genötigt werden.

An Regeln für die Herstellung von Blitzableitern fehlt es nicht, doch sind sie, wie zumal Zenger [171] behauptet, nicht alle probehaltig. Wer sich über die Mannigfaltigkeit der für Blitzschlag ausgedachten Systeme unterrichten will, der vergleiche L. Webers lehrreichen Bericht [172] über die internationale elektrische Ausstellung des Jahres 1883. Natürlich sind die Massnahmen, welche man für Telegraph und Fernsprecher trifft, verschieden von denen, welche sich auf Gebäulichkeiten beziehen, denn in ersterem Falle muss den hochgespannten elektrischen Entladungsströmen der Atmosphäre ein Weg eröffnet werden, den nicht auch zugleich die gewöhnlichen Arbeitsströme benützen können. Gewöhnliche Spitzen empfehlen sich weniger als das von Zenger (s. o.) empfohlene, auch von Weber günstig beurteilte Ovoid, welches der Wetterstange aufgeschraubt ist. Die symmetrischen Blitzableiter von Zenger sollen vervollkommneten Schutz ganzer Häuserkomplexe erreichen. Heutzutage sind gute Blitzableiter wenigstens in Städten allgemein verbreitet, aber diese Verbesserung hat sich nur langsam durchgesetzt. Nach Häpke [173] war der berühmte Leuchtturm von Eddystone das erste Bauwerk Europas, welchem man, in richtiger Würdigung der gerade solche Bauten bedrohenden Gefahr, durch einen Blitzableiter Sicherheit verlieh; 1769 folgten die höheren Kirchtürme von Hamburg und 1771 diejenigen von Bremen nach. Noch 1789 spottete der junge Humboldt darüber, dass die Universitätsstadt Göttingen sich keines einzigen Blitzableiters rühmen könne [174], und in der Schweiz musste noch später Horner eine populäre Schrift [175] über diese Neuerung deshalb herausgeben, weil dieselbe vom Volke überaus argwöhnisch betrachtet wurde. Heutzutage ist solche Belehrung wenigstens für den grössten Teil Europas überflüssig geworden.

Wie müssen, so wird natürlich stets gefragt, die Dimensionen eines Ableiters beschaffen sein, um einer gegebenen Fläche Sicherung zu gewährleisten? Der französische Physiker Charles gab die Vorschrift [176], ein um den Fusspunkt der Stange h beschriebener Kreis vom Radius 2h könne für seine Innenfläche durch jene geschützt werden. Im ganzen und grossen mag diese Hypothese, denn mehr ist es nicht, wohl zutreffen, jedenfalls verlangt ihr zufolge ein einigermassen grösseres Haus die Anbringung einer grösseren Anzahl von Ableitstangen. Detaillierte Regeln enthält eine auf Grund reicher Erfahrung gearbeitete Tabelle von Karsten [177], welche auch sorgfältig unterscheidet, ob die Konstruktion in Eisen oder Kupfer ausgeführt ist. Ausserdem ist auch die teils mehr theoretische, teils mehr die Bedürfnisse des Praktikers berücksichtigende Behandlung des Blitzschutzproblemes in den Schriften von Kuhn [178], Holtz [179], Neesen [180] und Lindner [181] sehr zu beachten, und auch die ausgedehnten Untersuchungen Lodges [182] bieten viele neue Gesichtspunkte.

Eben das gedachte Problem hat aber auch eine ganz neue Formulierung und Lösung durch den Belgier Melsens [183] gefunden, welche wohl die Schutzvorrichtung der Zukunft signalisiert. Vereinzelte Stangen gewähren niemals ausreichende Garantie, vielmehr wird solche allein dadurch erzielt, dass das zu schützende Objekt in ein zusammenhängendes Drahtnetz eingeschlossen wird. Beim Hôtel de ville zu Brüssel hat Melsens' Verfahren sich zuerst erprobt, indem alle diese Drähte durch die Mauer hindurchlaufen und sämtlich zum Grundwasser abgeleitet sind.

Obwohl Mach, dem wir eine gründliche Untersuchung über die Methode von Melsens verdanken [184], zuerst sich nicht völlig klar darüber war, ob der bekannte elektrostatische Lehrsatz, dass die Elektrizität sich ausschliesslich auf der Oberfläche eines Leiters ansammelt, auch auf strömende Elektrizität ausgedehnt werden dürfe, so überzeugte er sich doch nachgerade, dass es sich wirklich so verhalte. Selbst dann, wenn der Entladungsschlag das Drahtgitter zum Glühen bringt, erfüllt es noch seinen Zweck. Auch Hess ist [185], hauptsächlich bewogen durch die von ihm über das Abschmelzen der Ableiterspitzen gemachten Beobachtungen, zur Befürwortung des Melsensschen Drahtkäfiges gelangt. Aber natürlich ist ein solcher kostspielig, und in vielen

Fällen wird es daher genügen, wenn im Sinne der Vorschläge von Holtz [186] eine Art Kompromiss zwischen den alten und modernen Verfahrungsweisen in Wirksamkeit tritt.

§. 7. **Fulguritbildungen.** Der Schmelzwirkungen des Blitzes wurde oben (S. 148) gedacht, doch waren es dabei zunächst Artefakte, welche auf solche Art zerstört werden. Aber auch in der Natur kommen Gebilde vor, welche sich auf die beim Eindringen des elektrischen Fluidums in einen Körper entwickelte Hitze zurückführen lassen. So entstehen die Fulguritbildungen oder Fulgurite (fulgur, Blitz), und zwar sowohl an festem Gesteine, als auch, und ganz besonders, im losen Sande. Eine ausführliche Darstellung dieses Spezialkapitels enthalten das Werk v. Urbanitzkys [187] und eine den mineralogischen Gesichtspunkt scharf betonende Monographie von Wichmann [188].

Ueber geschmolzenes Gestein liegen nicht eben viele Wahrnehmungen vor, aber doch genug, um A. Heim zu berechtigen, den Blitzschlag unter den der Erosion vorarbeitenden Faktoren anzuführen [189]. Humboldt berichtet von den am Gipfel des Pico del Fraile in Mexiko anstehenden Trachytmassen [190]: „Wo der Blitz förmliche cylindrische Röhren zu 8 cm Länge so durchgeschlagen hat, dass man die obere und untere Oeffnung erkennen kann, ist ebenfalls das die Oeffnungen umgebende Gestein verglast.“ Von übereinstimmenden, wenngleich andere Gesteinsarten betreffenden Wahrnehmungen Saussures am Montblanc und Ramonds in den Pyrenäen weiss Arago [191] zu erzählen, und ein analoges Vorkommnis hat Abich [192], als er den Gipfel des Kleinen Ararat bestieg, zur Bildung des Namens Fulguritandesit — Augitandesit (I, S. 393), der sich als höhlungsreiches Schmelzprodukt darstellt — Veranlassung gegeben.

Die etwas abenteuerliche Vermutung des Archäologen Böttiger [193], eine Stelle des Dichters Lucanus [194] weise den etruskischen Fulguratoren oder Blitzwahrsagern Beschäftigung mit den Fulguriten zu, möge auf sich beruhen. Gewiss ist, dass die erste Beschreibung eines solchen Gebildes sich in einem höchst seltenen Buche [195] eines schlesischen Geistlichen D. L. Hermann (in dem Dorfe Massel damals wohnhaft) enthalten ist. Als Osteocolla kennt die Blitzversinterungen Valentins „Museum Museorum“ (1714), als Beinbruchstein Volkmanns „Schlesien mit seinen unterirdischen Schätzen“ (1720). Später fand ein gewisser Henzen nahe bei Paderborn wiederum solche sonderbare Versinterungen auf, und wesentlich dieser Fund gab den Anstoss zur Veröffentlichung von Arbeiten über die — nunmehr zumeist als Blitzröhren, gelegentlich auch als Blitzsteine, Blitzsinter und Astropyaliten (ἀστήρ, Stern; πύαλος, Hohlraum oder Trog) bezeichneten — Fundstücke. Echterling und R. Brandes [196], Pfaff [197] und, als der eifrigste, K. G. Fiedler [198] sind als solche Autoren zu nennen. In neuerer Zeit sind zu den bekannten viele Exemplare holländischer Provenienz hinzugekommen, zum Teile von Harting [199] beschrieben.

Blitzröhren sind nichts anderes als zusammengebackene Körner verschiedenen Mineralcharakters. Dies beweisen nicht bloss Laboratoriumsversuche, sondern mehr noch besondere Ereignisse, welche es gestatteten, die Entstehung einer Blitzröhre unter der Einwirkung des Blitzes direkt zu erkennen. Von solchen oberflächlich gebildeten Fulguriten schliesst man dann ganz natürlich auf die ausgegrabenen und in den Museen aufbewahrten Gebilde.

Drei französische Gelehrte, Hachette, Savart und Beudant, liessen den Entladungsschlag einer starken Batterie durch eine mit leicht schmelzbaren Stoffen, wie Glaspulver oder Kochsalz, gefüllte Röhre hindurchgehen und bekamen so eine kavernöse rauhe Masse von vollkommener Fulgurit-Aehnlichkeit [200]. Durch blosse Erwärmung, mag dieselbe noch so intensiv sein, scheint sich dagegen, das muss man aus Wichmanns Andeutungen [201] schliessen, der gleiche Zweck der Nachbildung nicht erreichen zu lassen.

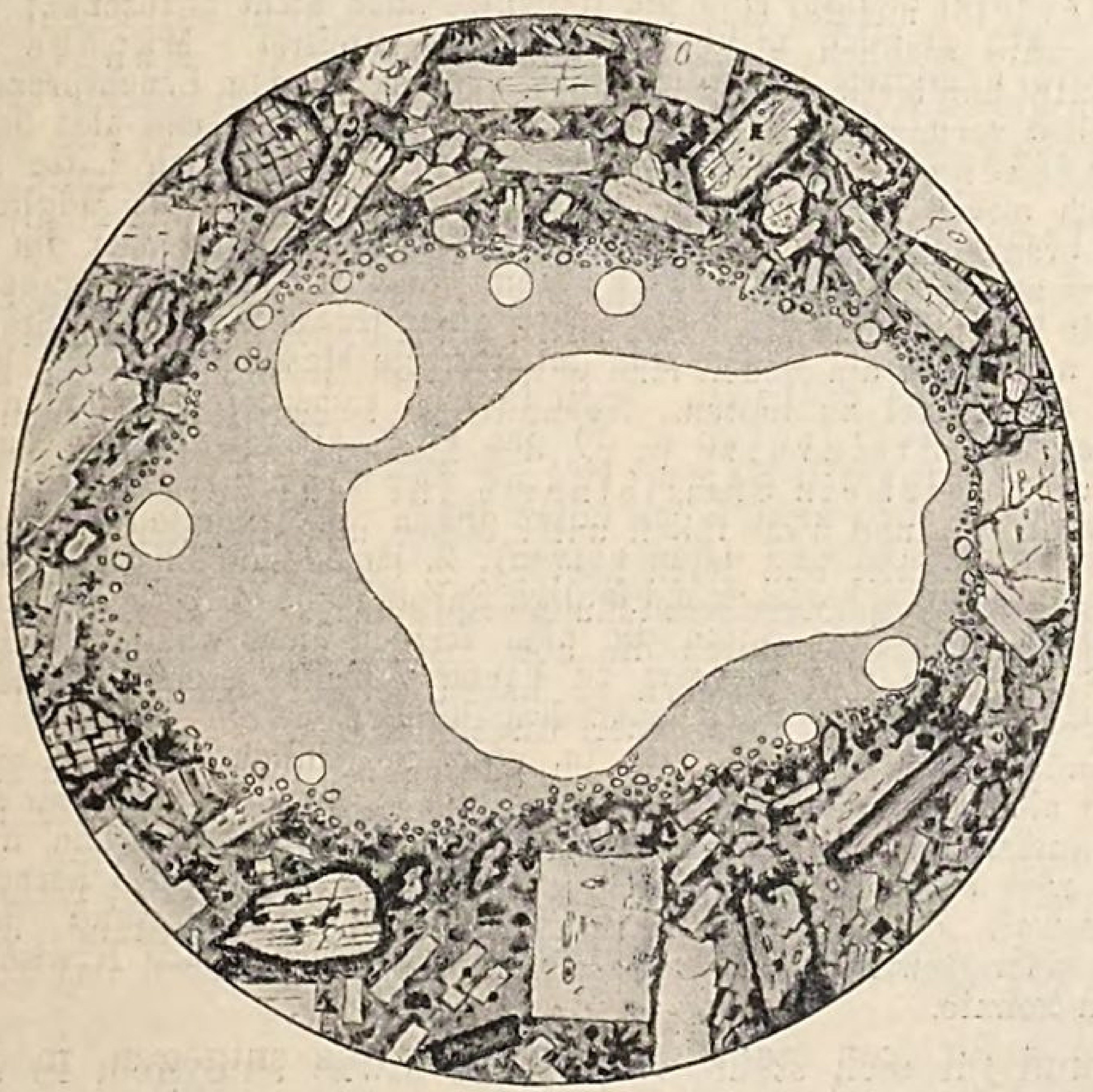
Ein besonders deutlicher Augenscheinbeweis für die Genese der Blitzröhren wurde von Hoh [202] geführt. Der Blitz hatte ein Bauernhaus getroffen, dessen Estrich mit weissem Sande bestreut war, und eben dieser Sand war zu einem Fulguriten, so wie ihn Fig. 35 abbildet, zusammengebacken worden. Ein in der sandreichen Umgebung Nürnbergs gefundener, von Spiess [203] beschriebener Fulgurit stand aufrecht im Sande; zahlreiche Verästelungen liefen vom Stamme aus; die Innenwand war verglast, so dass ihr jedoch noch zahlreiche Quarzkörper anhafteten. Solch verästelte Blitzröhren, wie solche bei v. Urbanitzky [204] nachzusehen sind, ähneln so auffallend Baumästen, dass die blosse Betrachtung der Abbildung keinen Unterschied aufzuzeigen vermöchte.

Fig. 35.



Indem v. Gümbel [205] einige Fulgurite beschrieb, welche v. Zittel in der Libyschen Wüste aufgefunden hatte, schilderte er die geschmolzene Masse als

Fig. 36.



echtes Glas (I, S. 388), dessen amorpher Charakter sich durch die mit dem Polarisationsapparate vorgenommenen Proben unzweideutig herausgestellt habe, während die distinkten Quarzkörnchen ihre Krystallnatur durch lebhafte Interferenzfarben bekundeten. Nach Wichmann [206] geben wir in Fig. 36 einen Dünnschliff (I, S. 389), dessen Ebene senkrecht zur Achse der betreffenden Röhre steht; es ist nämlich für die petrographische Untersuchung keineswegs gleichgültig, unter welchem Winkel die Schnittebene die Achse trifft. Um die unregelmässige Durchschlagsöffnung herum ist der Stoff des Fulguriten lichtgrünes, homogenes Glas mit Dampfporen, die sich da, wo das Glas an die unversehrte Gesteinsmasse anstösst — in diesem Falle ist es Andesit — stark zusammendrängen, aber auch immer kleiner und kleiner werden. Ein Aufsatz von Diller [207] gibt Aufschluss, wie sich die Fulguritbildung gestaltet, wenn Basalt an die Stelle des Andesits getreten ist.

§. 8. **Irrlichter.** Wenn wir das Irrlicht (Irrwisch, ignis fatuus, feu follet, Wile with the Wisp, fuoco fatuo) in dem Kapitel von der

atmosphärischen Elektrizität mit behandeln, so geschieht dies deshalb, weil die mysteriöse, noch so wenig erforschte Naturerscheinung doch vielleicht noch am ersten hier das Bürgerrecht beanspruchen darf. An der Realität der Erscheinung kann nämlich anscheinend nicht gezweifelt werden. Lange Zeit war Munckes Lexikon-Artikel [208] die beste litterarische Quelle zur Belehrung über die Irrlichter, aber seit kurzem sind die dankenswerten Arbeiten von Steinvorth [209] und Müller-Erzbach [210] neu hinzugekommen.

Der berühmte Astronom Bessel hat von der in mooriger Gegend gelegenen Sternwarte Lilienthal (bei Bremen) aus die oft beschriebenen hüpfenden Flämmchen wiederholt gesehen [211], und ein Gleiches gilt für den von Hellmann [212] citierten, nach der persönlichen Erkundigung des Verf. durchaus unverwerflichen Zeugen K. Heller [213]. An eine Art elektrischen Glimmlichtes dachte man schon im XVIII. Jahrhundert; so wollte Volta [214] alles auf kleine Mengen von Phosphorwasserstoff zurückführen, das sich in feuchten Gründen gebildet habe und durch den elektrischen Funken entzündet worden sei. Wo jedoch dieser Funke herkommen sollte, versäumte er anzugeben. Als eine besondere Art von „Meteoren", wie Kastner [215] meinte, sind die Irrlichter auch nicht anzusehen; mit solcher Benennung wäre sachlich nicht das mindeste geleistet. Muncke (s. o.) und Chladni [216] huldigten der Ansicht, dass man es mit dem Leuchtprozesse faulender, sich selbst zersetzender Substanzen zu thun habe, so dass also das Licht als Phosphoreszenzphänomen zu deuten wäre. Aehnlich hatte schon Deschales sich ausgesprochen [217], der nur daneben noch die Möglichkeit offen liess, dass brennende oder das Licht stark reflektierende Körper die Träger des Lichtscheines sein möchten. Chladni meint, man brauche die Angabe [218], dass der bekannte Mantiker und Magiker Fludd einen Irrwisch mit dem Stocke niedergeschlagen und dann am Boden eine gallertartige Masse angetroffen habe, nicht gerade für eine Fabel zu halten. Irgendwelche sichere Daten fehlen aber noch durchaus, so dass Steinvorth (s. o.) das Fazit aller Umfragen dahin ziehen konnte: Irrlicht ist ein Sammelname für sehr verschiedene Lichterscheinungen, und zwar fallen unter diesen unbestimmten Begriff: 1. leuchtende Tiere (Leuchtkäfer und deren Larven); 2. leuchtende Pflanzen (Micrococcus, Rhizomorpha); 3. phosphoreszierend-faulige Substanzen; 4. Gasentwickelungen infolge chemischer Prozesse, durch die aber freilich nicht wandernde Flämmchen, wie man sie da und dort gesehen zu haben vorgibt, erzeugt werden können; 5. elektrische Vorgänge (St. Elms-Feuer, Kugelblitze).

Gegenüber Steinvorth, der im ganzen ziemlich skeptisch sich verhält, ohne jedoch einen zwingenden Beweis gegen die Existenz der Irrlichter als erbracht anzusehen, äussert sich Müller-Erzbach mehr in positivem Sinne, und er kann dies auch, weil er noch verschiedene unantastbare Belege [219] herbeizuschaffen in der Lage war. Besonders bemerkenswert erscheint der Umstand, dass ein Beobachter in einer Gewitternacht sowohl St. Elms-Feuer als auch Irrwische deutlich wahrnehmen konnte.

An und für sich steht wohl kaum etwas entgegen, in den mattschimmerden Flämmchen elektrische Ausströmungserscheinungen zu erblicken, gewissermassen Miniaturbilder der St. Elms-Feuer. An Gegenständen, welche zu einer Spitzenwirkung verhelfen können, fehlt es auch in einem Moorgrunde oder auf einer Sumpfwiese nicht so leicht. Haltermann [220] meint mit Recht, der von ihm statistisch geführte Nachweis des Vorwiegens der St. Elms-Feuer auf dem Meere gelte wohl nicht absolut; den Landbewohnern bleibe ein solches Büschellicht nur leichter verborgen als den Seeleuten. Man hat eben wahrscheinlich sein Augenmerk nicht bloss auf hoch aufragende Objekte, sondern man hat es auch auf den Erdboden selbst zu richten.

§. 9. **Theorie der normalen Luftelektrizität.** Ehe wir versuchen, uns über die Bedingungen klar zu werden, welche unter gewissen Um-

ständen eine rasche Steigerung des niemals ganz fehlenden elektrischen Luftpotentiales herbeizuführen im stande sind, soll es unsere nächste Aufgabe sein, den Gründen nachzuspüren, welche sich für das stete Vorhandensein des ersteren angeben lassen. Es wird sich auch da wesentlich ein grosser Gegensatz der Anschauungen aufdecken lassen, je nachdem man die atmosphärische Elektrizität als etwas quantitativ Vorhandenes oder als etwas immer wieder neu Entstehendes auffasst.

Das wissen wir, um Schusters Worten [221] zu folgen, mit Sicherheit, dass unsere Erde eine (negativ-) elektrische Ladung besitzt, dass wir uns also, wohin wir uns auch begeben mögen, in einem elektrischen Felde (I, S. 253, 550) befinden, durch welches elektrische Kraftlinien sich hindurchziehen. Wie aber verlaufen diselben? Wir dürfen wohl (vgl. S. 84) hoffen, uns hierüber mittelst der Ballonfahrten noch genauer zu unterrichten. Wie das elektrische Erdpotential auf niederfallendes Wasser wirkt, davon konnten wir uns ebenfalls schon (S. 141) überzeugen.

Dass die Insolation eine nicht unerhebliche Einwirkung auf den Ladungszustand der Atmosphäre ausübt, das erhellt schon aus dem, was über die Periode der Luftelektrizität (S. 140) berichtet wurde, aber damit ist noch keineswegs gesagt, wie dies Mühry [222] und Giordano [223] annahmen, dass in der Sonnenstrahlung auch die wahre Ursache der zu ergründenden Erscheinung gegeben sei. Aus der früher (in §. 1) verzeichneten Thatsache, dass in den Polarregionen das Vorhandensein atmosphärischer Elektrizität oft schwer nachweisbar ist, hatte man geschlossen, dass sie deswegen fehle, weil dort die Sonnenstrahlen nur eine geringe Wärmekraft besitzen, allein dies war, wie Lemström [224] des näheren darthat, ein vollkommener Trugschluss.

In einer Monographie von Suchsland [225] werden nicht weniger als vierundzwanzig Erklärungen des elektrischen Verhaltens der Luft aufgezählt und besprochen. So sehr ins Detail sich zu versenken, ist an diesem Orte nicht möglich, wohl aber soll eine Uebersicht über die wissenschaftlich beachtenswertesten Hypothesen nicht fehlen. Wertvolle Unterstützung bietet für diesen Zweck eine gründliche kritische Erörterung der bekannteren Theorien, welche Sohncke [226] geliefert hat.

a) **Die Hypothese der Volta-Säule.** Jede elektrisch geladene Wolke glaubt Suchsland (s. o.) sich als ein vollständiges Analogon der bekannten, aus Kupfer-, Zink- und feuchten Tuchscheiben aufgebauten Voltaschen Säule denken zu können. Wasser ist in einer bereits elektrisch gewordenen Wolke, wie wir wissen, immer vorhanden; die beiden Metalle sollen durch Stick- und Sauerstoff ersetzt sein. Die als Beweismittel angeführten Versuche mit der Gasbatterie geben der Suchslandschen Hypothese unleugbar einen gewissen Halt, aber ein gar nicht zu überwindender Gegengrund liegt darin, dass reines Wasser — und dieser Charakter kommt dem atmosphärischen, verdichteten Wasserdampfe im allgemeinen zu — zu den schlechtesten Leitern der Elektrizität gehört.

b) **Die Reibungs-Hypothese.** Dafür, dass die zahllosen, an sich unbedeutenden Reibungsprozesse innerhalb der Luft, sowie an der Grenze von Atmo- und Lithosphäre die eigentliche Kraftquelle darstellen, ist besonders Jordan mit folgender These [227] eingetreten: „Die Entwickelung der atmosphärischen Elektrizität hängt von der vereinten Wirkung des Wasserdampfes und der Sonnenwärme ab.“ Diese Behauptung ist nun freilich sehr allgemein gehalten; spezialisiert wird sie durch Kiesel [228], der eine kontinuierlich wirkende Ursache der Reibung nachweisen zu können glaubt: Das Eindringen fein verteilten Meteorstaubes in die tieferen Schichten der Atmosphäre. Von Kleiber ist in seinen Studien über Sternschnuppen [229] die Menge des stündlich zur Erde gelangenden kosmischen Staubes auf 2250 kg geschätzt worden. Mag auch diese Zahl nur eine sehr runde sein, so darf immerhin die Durchsetzung der Luft mit Staub aller Art, von oben und von unten kommendem, als ein wesentliches Moment in Rechnung gezogen werden, kaum aber als das zu allererst massgebende.

c) Die Verdampfungs-Hypothese. Seit Saussure, der seinem berühmten Reisewerke [230] auch eine Abhandlung „Nouvelles expériences sur l'électricité atmosphérique" einverleibte, wird der Wasserverdunstung — zumal auf hoher See — ein namhafter Einflusss auf die Elektrisierung der Luft zugeschrieben. So urteilte auch Pouillet, indem er nur auch die Pflanzenwelt als wirksamen Erreger der Elektrizität anerkannt wissen wollte [231]. Experimente, wie sie von Buff, Blake, Freeman auf der einen, von Mascart und K. Exner auf der anderen Seite angestellt wurden, lieferten teilweise widersprechende Ergebnisse [232]; bei Alkohol und Aether war die Erregung von Elektrizität in den aufsteigenden Dämpfen zweifellos, bei Wasserdampf scheint es sich aber nicht immer so zu verhalten. Eine Hauptursache haben wir in der Dampfbildung aus tropfbarer Flüssigkeit schwerlich zu erblicken.

d) Die Kondensations-Hypothese. Die Verdampfung unterschätzt in ihrer Bedeutung auch Palmieri nicht, aber als ungleich einflussreicher erscheint ihm der umgekehrte Prozess, derjenige der Kondensation [233]; ganz ähnlich hatte sich früher schon Wettstein [234] ausgesprochen. Wir kommen auf diese Hypothese, als deren Gegner namentlich Jordan [235] auftrat, im nächsten Paragraphen nochmals zurück, konstatieren aber jetzt schon, dass Palmieris Grundversuch mit Kontrollversuchen von Kalischer, Freeman und Magrini nicht in allewege harmonierte [236].

e) Die atomistische Hypothese. Aus dem Grundgesetze der mechanischen Wärmetheorie folgt, dass die Gasatome, welche den Luftraum durchschwirren und unausgesetzt auf andere ihresgleichen stossen, Gelegenheit finden, sich infolge der Zusammenstösse entgegengesetzt zu elektrisieren. Ginge nun, sei es durch Kondension, Absorption oder sonstwie, die eine der beiden Elektrizitäten der freien Atmosphäre verloren, so bliebe in dieser nur die andere zurück. Dies ist der Grundsatz der Linssschen Theorie [237], welche in gewisser Hinsicht als Modifikation oder Präzisierung der Reibungshypothese sich betrachten lässt.

f) Die Ozon-Hypothese. Unter dem Einflusse der Sonnenstrahlung, so argumentiert Wurster [238], spalten sich häufig Sauerstoffmoleküle in ihre beiden Atome; das eine tritt (S. 15) zu einem normalen Molekül gleicher Art hinzu, während das andere mit Wasser zu Wasserstoffsuperoxyd sich verbindet. Dieser Vorgang der Ozonbildung soll stets von Elektrizitätsentwickelung begleitet sein. Das ist zuzugeben; es wird in der That negative Elektrizität erzeugt; allein wo ist die doch gleichzeitig in die Welt getretene positive Elektrizität hingekommen? Solange darauf keine Antwort erteilt werden kann, muss man mit Sohncke [239] Bedenken gegen die von ganz richtigen Maximen ausgehende Erklärung hegen.

g) Die solare Hypothese. Es war Becquerel [240], der zuerst auf Vorgänge hinwies, welche sich am Sonnenkörper vollziehen; der eruptive, die Protuberanzen bildende Sauerstoff (I, S. 80) sei positiv, die Oberfläche des Sonnenkörpers selbst negativ elektrisch, und indem dann von den Protuberanzen fein verteilter Stoff zur Erde durch Abschleuderung gelange, müsse auch die Atmosphäre, und durch sie die Erde selbst, elektrisch affiziert werden. Damit stimmt überein Faye [241], und auch Werner Siemens' Hypothese [242] kommt, nur in verfeinertem und inhaltlich mehr durchgebildetem Ausdrucke, auf den gleichen Grundgedanken hinaus. Die Luftelektrizität wäre danach eine natürliche Folge der in der Sonnenatmosphäre sich abspielenden Vorgänge von Wallung und Explosion. Ueber die Abwehr, welche Siemens gegen die von Douglas Archibald, Faye und Hirn erhobenen Einwände gerichtet hat, orientiert sehr gut die Darstellung Kleins [243]; unter den gegnerischen Litteraturprodukten sind auch zwei Aufsätze von Zehnder [244] nicht ausser acht zu lassen. Wenn Jordan [245] sich vorzugsweise gegen die Annahme wendet, der Weltraum könne als Dielektrikum wirken, so ist dem gegenüber an die neueren Untersuchungen (I, S. 611) über die Fortpflanzung der Elektrizität in der Leere zu erinnern.

h) Die Reservoir-Hypothese. Aller Nötigung, vom Vorhandensein statischer Luftelektrizität genaue Rechenschaft zu geben, ist man überhoben, wenn man mit Peltier [246] und v. Lamont [247] annimmt: Die Erde ist von Hause aus Reservoir einer gewissen elektrischen Ladung des Zeichens minus. Dann muss natürlich der Luftelektrizität das Zeichen plus zukommen. In der Hauptsache stellten sich auch Exners zahlreiche Beiträge zu unserer Dis-

ziplin auf diesen grundsätzlichen Boden. Die Erde schwebt als elektrisierter Ball im Weltraume; absolut wasser- und staubfreie Luft ist weder elektrisch noch elektrisierbar; der variable Wassergehalt bedingt (S. 141) die Potentialschwankungen. Nahrwolds Untersuchungen [248] über die Elektrisierbarkeit reiner Gase fallen da mit ihrem negativen Resultate besonders ins Gewicht. Rechnungen nach der Exnerschen Formel [249] haben auch für Elster und Geitel eine zufriedenstellende Uebereinstimmung ergeben [250], wenigstens solange der Luftdruck nicht zu niedrig war, und auch der von Exner [251] bemerkte Umstand, dass stets bei Nebel das Potentialgefälle extrem hohe Werte annimmt, ist nicht in Widerspruch mit einer Lehre, welcher zufolge eine aus dem Weltbildungsprozesse entspringende elektrische Ladung das primäre, der wechselnde Gehalt der Atmosphäre an Wasser das sekundäre Moment wäre. Das freilich kann auch nicht geleugnet werden: Die Lösung der obschwebenden Aufgabe ist nicht sowohl erbracht, als vielmehr bloss zurückgeschoben.

i) **Die elektrolytische Hypothese.** Die Fundamentalvoraussetzung, dass die Erde vom Anfange ihrer Existenz als selbständiger Weltkörper her eine elektrische Ladung berge, liegt auch dieser Theorie von Arrhenius [252] zu Grunde. Anknüpfend an die früher, beim Erdmagnetismus, von uns besprochenen Arbeiten eines Hertz, Stoletow, E. Wiedemann u. s. w. (I, S. 563, 613), deutet er die zuletzt betonte Eigenschaft der Luft, sich neutral gegen Elektrizitätserregung zu verhalten, in folgender Weise um: Die Luft, an und für sich ein vollkommener Isolator, beginnt unter dem Einflusse der Sonnenstrahlen nach Art der Elektrolyte oder zersetzbaren Leiter selbst schwach leitend zu werden. Vor allem die ultravioletten Spektralstrahlen sind die nach Hertz [253] aktivsten. Allein Sohncke glaubt an der Hand anderweiter Versuche zeigen zu können [254], dass nicht eigentlich die zwischen den Elektroden gelegene Luftschicht selber leitend werde, sondern dass es sich um eine reine Kathodenerscheinung (I, S. 563) handle. Die Bestrahlung, vorab die ultraviolette, ermöglicht es der Elektrizität, leichter von dem geladenen Körper wegzukommen, aber auf die Luft selbst übt sie einen nachhaltigen Einfluss nur unter ganz besonderen, von Elster und Geitel [255] studierten Bedingungen aus. Die Sonnenstrahlen verlieren, wie E. Wiedemanns und Eberts Versuche [256] in verdünnter Luft beweisen, den wirksamsten Bestandteil ihrer anregenden Kraft schon hoch oben in der Atmosphäre durch Absorption. Es kann folglich auch die elektrolytische Theorie von Arrhenius nicht als eine allen Anforderungen entsprechende anerkannt werden, ein so wertvolles Ferment sie auch in die Lehre von der Luftelektrizität hineingetragen hat.

§. 10. **Theorie der Gewitterelektrizität.** Eine bis ins einzelne unserem Kausalbedürfnis genügende Erklärung des mannigfaltigen Erscheinungskomplexes, welcher sich uns in diesem Teile der atmosphärischen Physik vor Augen stellt, hat also auch die fleissigste Forschungsarbeit der früheren und jüngeren Vergangenheit noch nicht zu Tage fördern können. Elster und Geitel, diese beiden erprobten Arbeiter auf unserem Gebiete, haben die Richtungen, welche die Detailuntersuchung einzuschlagen haben wird, genauer gekennzeichnet [257]. Ein Punkt jedoch dünkt uns ganz sicher; ohne Appell an die vielerlei Friktionen, welche eine Konsequenz der steten Bewegung der in der Luft schwebenden Teilchen bilden, wird man nicht zurecht kommen können. Es gilt dies schon für gewöhnliche, in noch höherem Masse aber für die bei Gewittern sich manifestierende, hochgespannte Elektrizität. Aber auch die Kondensation dürfte dabei eine gewichtige Rolle spielen.

Um zunächst von letzterem Faktor zu sprechen, so ist zunächst ein Gedanke zu erwägen, auf welchen, unabhängig von einander, Spring [258], Frick [259] und Klein [260] unsere Aufmerksamkeit gelenkt haben. Gesetzt, jedes Individuum eines Aggregates von Tröpfchen besitze — aus welchem Grunde immer — ein gewisses elektrisches Potential; wenn alle diese Tröpfchen sich nun auf einmal zu einem grossen Tropfen vereinigen, so muss die Span-

nung auf dessen Oberfläche eine sehr viel höhere werden. Das geht hervor aus einer einfachen mathematischen Ueberlegung. Elektrizität sammelt sich, wie bekannt, ausschliesslich auf der Oberfläche an; wären nun n gleich grosse Tröpfchen, jedes vom Radius ρ, vorhanden, von denen die Flächeneinheit eines jeden — in der älteren Sprache der Elektrizitätslehre gesprochen — eine Elektrizitätsmenge δ beherbergt, so wäre die gesamte vorhandene Menge freier Elektrizität gleich $4n\delta\rho^2\pi$. Nun trete rasch Kondensation ein; der neu gebildete Tropfen habe den Radius r und seine Oberfläche den Elektrizitätsbelag d. Die Grösse r lässt sich bestimmen, denn man hat

$$\frac{4}{3} n\rho^3\pi = \frac{4}{3} r^3\pi, \quad r = \rho\sqrt[3]{n}.$$

Bezeichnen wir mit D den Ausdruck $4n\delta\rho^2\pi$, so haben wir, falls bei der Koagulation die Menge der Elektrizität selbst nicht verändert wird, die nachstehenden Gleichungen:

$$\delta = \frac{D}{4\rho^2\pi} \cdot \frac{1}{\sqrt[3]{n^3}}, \quad d = \frac{D}{4\rho^2\pi} \cdot \frac{1}{\sqrt[3]{n^2}}.$$

Im Nenner von d steht, während die Zähler gleich sind, eine kleinere Zahl; es ist somit $d > \delta$. Und zwar wächst das Verhältnis $d:\delta$ sehr schnell an, wenn n selbst grösser wird. Auch die Ansicht Taits [261] deckt sich im Hauptpunkte mit der vorstehend dargelegten.

Bei alledem würde jedoch die auf solche Weise zu stande kommende Elektrizitätsentwickelung kaum zureichen, um die gigantischen Funken, die man oft als Blitze beobachtet (S. 144) und überhaupt die Energie, mit welcher bei Gewittern der Ausgleich sich vollzieht, völlig begreifen zu können. Recht wohl aber kann man dies, wenn man von Sohnckes Gewittertheorie [262] ausgeht. Es sei gleich bemerkt, dass eine mit dieser in wesentlichen Momenten zusammenstimmende Theorie von Luvini [263] aufgestellt worden ist.

Das Neue dieser gegenwärtig wohl am meisten geschätzten Erklärungsweise gipfelt in der Doppelerkenntnis: Einmal wird dargethan, dass bei einer Mengung von Wasser- und Eisteilen reichlichste Entwickelung von Elektrizität eintritt, und zweitens wird erläutert, warum unmittelbar vor einem Gewitter die besten Bedingungen für eine solche Mengung vorhanden sind. Aeltere Versuche Faradays mehrfach variierend, liess Sohncke [264] einen mit feinen Wassertröpfchen beladenen Luftstrom auf Eisstücke stossen und sah sodann die positive Elektrizität des Eises hervortreten, während bei Anwendung von reiner Luft ein solcher Erfolg nicht zu erzielen war; auch Eis, das sich infolge des Schmelzprozesses bereits mit einer Wasserschicht überzogen hatte, verblieb unelektrisch, so dass also, wenn Kügelchen tropfbar flüssigen Wassers durcheinander treiben, zwar auch Reibung, nicht jedoch die Bildung eines stärkeren elektrischen Potentiales die Folge ist. Weshalb aber, so liesse sich fragen, kommen denn nicht viel häufiger Gewitter zu stande, da doch Wasserdampf von jedem aufsteigenden Luftstrome mit emporgeführt wird? Die auf diese Frage von Sohncke gegebene Antwort besagt folgendes: Immer dann, wenn Gewitterstimmung in der Luft herrscht, senkt sich die Isothermfläche Null, jenseits deren das Wasser grossenteils schon den festen Aggregatzustand angenommen hat, viel tiefer gegen die Erde herab, als dies unter gewöhnlichen Verhältnissen der Fall ist. Dafür haben namentlich Ballonfahrten wertvolle Anhaltspunkte erbracht. Zumeist also vermag der aufsteigende Luftstrom die Wasserteilchen nicht hoch genug zu tragen, damit eine Durchdringung der Kügelchen beider Aggregatzustände statthaben könnte; seine Triebkraft erlahmt schon lange vor Erreichung der Isothermfläche mit Nulltemperatur. „So müssen fortdauernd neue Elektrizitätsmengen erzeugt werden, solange die verschiedenen Luftströme in hinreichend heftiger gegenseitiger Bewegung begriffen sind“ [265]. Es soll nicht verschwiegen werden, dass C. Ferrari [266] gegen Sohnckes zweites Theorem, das ja nur Beobachtungen entnommen sein kann, Einwendungen geltend gemacht hat. Immer-

hin ist die durch Kurvenzeichnungen beglaubigte Angabe, dem Gewitter sei eine Erhebung der Isothermflächen vorangegangen, worauf nachher erst eine Senkung folgte, mit Sohnckes Ermittelungen gar nicht so schwer in Einklang zu bringen. Und auch Assmanns Prüfung [267] dieser letzteren ist, soweit wenigstens das mittelhochdeutsche Gebirgsland in Betracht kommt, nicht ungünstig ausgefallen.

Wir haben hier die Sohnckesche Hypothese nur in ihrer Anwendung auf die Gewitterelektrizität kennen gelernt, und da hat sich uns dieselbe vortrefflich bewährt. Ihr Autor glaubte dieselbe überhaupt als zur Erklärung der atmosphärischen Elektrizität passend hinstellen zu dürfen, aber dagegen scheinen uns zwei Gründe zu sprechen, welche wenigstens erst noch einer besonderen Beleuchtung bedürftig erscheinen. Der eine lässt sich dahin kennzeichnen, dass die eishaltigen Cirruswolken (I, S. 31) für gewöhnlich in zu grossen Höhen schweben, um noch von der tiefer unten sich vollziehenden Luftauflockerung betroffen zu werden, und dann ist, obwohl Sohncke [268] auch dazu einen beachtenswerten Ansatz gemacht hat, die Jahresperiode der Luftelektrizität noch nicht so erklärt, wie es die Bedeutung dieses für die Kritik sehr wichtigen Umstandes wünschenswert erscheinen lässt [269]. Die Periodizitätsverhältnisse bilden überhaupt eine gewisse Klippe für jede Hypothese. Leugnen lässt sich nicht, dass Hoppes Versuche, zur Verteidigung der auf die Reibung zwischen festen Körpern und atmosphärischem Wasserdampfe angestellt [270], zumal für die tägliche Periode eine recht einleuchtende Interpretation ergaben.

An der Thatsache, dass Reibung, dieses Wort im weitesten Sinne genommen, die Hauptursache der atmosphärischen Elektrizität sei, wird also festgehalten werden dürfen; es ist damit auch zugleich gesagt, dass und warum absolute Lufttrockenheit, wie dies bereits Beccaria [271] wusste, der Elektrizitätsentwickelung hinderlich sein muss. Mit dem Fehlen der Wasserkörperchen fehlt zugleich eine einflussreiche Veranlassung der Friktion. Wenn Gerland [272] der Kondensation eine beträchtliche Bedeutung für die Herausbildung hoher Elektrizitätsspannung beimisst, so hat er doch zunächst auch die Reibung im Auge, welche durch herabfallende Wassertropfen und aufsteigende Luft bedingt ist. Damit ist dann auch die Andriessche Wirbeltheorie [273] gut zu vereinigen.

Zum Schlusse darf auch die von Edlund [274] befürwortete Theorie der unipolaren Induktion nicht ganz mit Schweigen übergangen werden. Doch dürfen wir uns hier kürzer fassen, weil schon die Lehre vom Polarlichte (I, S. 610) uns zu einer gedrängten Erörterung des Wesens jener Anschauung nötigte.

Danach kämen alle Ausgleichsprozesse, zu denen wir auch die Erdströme zu rechnen hätten, wesentlich auf dasselbe hinaus, und nur die Art, wie sie in die Erscheinung treten, wäre eine — sozusagen quantitativ — verschiedene. Die Richtung, längs welcher die Elektrizität strömt, fällt nach Edlund mit derjenigen der Neigungsnadel (I, S. 517 ff.) zusammen; diese aber stellt sich unter den Tropen nahezu parallel zum Horizonte ein, und demzufolge gibt es dort keinen langsamen Ausgleich. Die ungemein grosse Seltenheit eigentlicher Polargewitter andererseits (S. 147) ist durch Sohnckes Theorie begründet, denn die schwach wärmende Sonne besitzt jenseits der Polarkreise nicht mehr die Fähigkeit, aufsteigende Luftströmungen von genügender Kraft auszulösen, so wenig weit auch gar oft die Isothermfläche Null vom Erdboden abstehen mag. Es dürfte sohin, wenngleich eine abschliessende Einsicht in den Zusammenhang der Dinge erst von der Zukunft erwartet wird, doch dabei zu verbleiben sein, dass die Phänomene des Polarlichtes, des St. Elms-Feuers und des Gewitters demselben gemeinsamen Gesichtspunkte unterzuordnen sind.

Die Tropenzone kennt nur disruptive Entladungsformen, langsame fast gar nicht; in der Polarwelt erscheinen die letzteren als die Regel, und ein jäher Ausgleich wird nur in Ausnahmefällen erlebt. Die gemässigten Breiten endlich weisen beide Möglichkeiten auf; solange die Spannung unter einer gewissen Grenze bleibt,

walten die langsamen Ausströmungserscheinungen (§. 6) vor, und bei akuterem Gegensatze des Mafses der elektrischen Ladung kommt es zum Gewitter, aber auch die als Nord- oder Südlicht bezeichneten, ganz langsamen Ausgleiche fehlen bis gegen die Wendekreise hin (I, S. 597) nicht ganz und gar. Damit haben wir den Anschluss an die Darlegungen des VI. Kapitels erreicht.

[1] Bessels, Die amerikanische Polarexpedition, Leipzig 1879, S. 643. — [2] Ebenda, S. 240. — [3] Bravais-Lottin, Observations rélatives à l'hydrographie et à la physique, C. R., VII, S. 837 ff.; Observations concernent la météorologie et la physique du globe, X, S. 289 ff. — [4] Hochheim, Otto v. Guericke als Physiker, Magdeburg 1872, S. 16. — [5] E. Hoppe, Geschichte der Elektrizität, Leipzig 1884, S. 41; Albrecht, Geschichte der Elektrizität mit Berücksichtigung ihrer Anwendungen, Wien-Pest-Leipzig 1885, S. 90. — [6] Waitz, Ueber atmosphärische Elektrizität, K. G. R. W., XXX, S. 462 ff. — [7] K. J. Jordan, Ueber den Ursprung der atmosphärischen Elektrizität, G., XX, S. 12 ff., 147 ff. — [8] Palmieri-Discher, Die atmosphärische Elektrizität, Wien-Pest-Leipzig 1885. — [9] v. Urbanitzky, Die Elektrizität des Himmels und der Erde, Wien-Pest-Leipzig 1888. — [10] Hoh, Elektrizität und Magnetismus als kosmotellurische Kräfte, Wien-Pest-Leipzig 1888 (Elektrotechn. Bibliothek, Bd. XXXVII). — [11] Volta, Sieben Briefe an Lichtenberg, Nr. 1, Meteorologische Beobachtungen, Leipzig 1790; Hoppe, S. 82. — [12] Christiansen-J. Müller, Elemente der theoretischen Physik, Leipzig 1894, S. 401. — [13] G. S. Ohm, Die galvanische Kette mathematisch bearbeitet, Berlin 1827. — [14] Wand, Die Prinzipien der mathematischen Physik und die Potentialtheorie nebst ihren vorzüglichsten Anwendungen, Leipzig 1871, S. 9 ff. — [15] Kurz, Das Ohmsche Gesetz, eine historisch-kritische und didaktische Studie, R. E., XXIV, S. 373 ff. — [16] F. Exner, Ueber die Ursache und die Gesetze der atmosphärischen Elektrizität, S. A. W., M. N., XCIII, S. 222 ff.; Ueber die Abhängigkeit der atmosphärischen Elektrizität vom Wassergehalte der Luft, R. E., XXIV, S. 225 ff. — [17] Maxwell-Weinstein, Lehrbuch der Elektrizität und des Magnetismus, I, Berlin 1883, S. 75 ff. — [18] Hoppe, S. 15. — [19] Ebenda, S. 34. — [20] Nollet, Recueil des lettres sur l'électricité des corps, II, Paris 1753, S. 239 ff.; Hoppe, S. 42. — [21] J. Müller, Lehrbuch der kosmischen Physik, Braunschweig 1875, S. 735. — [22] Mazéas, Observations on the Electricity of the Air made ad the Chateau of Maintenon during June, July and October 1753, P. T., 1854, S. 377 ff.; Albrecht, S. 42 ff. — [23] Romershausen, Apparat zur Beobachtung der atmosphärischen Elektrizität, A. P. G., LXIX, S. 71 ff. — [24] Hoppe, S. 83. — [25] Coulomb, Recherches théoriques et expérimentales sur la force de tension et sur l'élasticité des fils de métal, M. A. P., 1784, S. 229 ff. — [26] Peltier, Sur quelques causes d'erreur dans les mesures des tensions électriques et description d'un nouvelle électromètre, A. C. P., LXII, S. 422 ff. — [27] v. Urbanitzky, S. 153 ff. — [28] Dellmann, Ueber ein neues Elektrometer, Kreuznach 1842; Ueber Oersteds Elektrometer und ein neues Elektrometer der Art, A. P. C., LV, S. 301 ff.; Ueber das Elektrometer, A. P. C., LXXXVI, S. 524 ff. — [29] R. Kohlrausch, Ueber das Dellmannsche Elektrometer, A. P. C., LXXII, S. 353 ff.; LXXIV, S. 499 ff.; Das Sinuselektrometer, A. P. C., LXXXVIII, S. 497 ff. — [30] Röber, Zur Theorie des Dellmannschen Elektrometers, A. P. C., LXXXIX, S. 283 ff. — [31] Palmieri-Discher, S. 12 ff. — [32] W. Thomson, Reprint of Papers on Electrostatics and Magnetismus, London 1872, S. 257 ff.; Albrecht, S. 85 ff.; Dellmann, Der Apparat von W. Thomson zur Beobachtung der atmosphärischen Elektrizität, R. E., III, S. 1 ff. — [33] v. Urbanitzky, S. 160 ff. — [34] Ebenda, S. 162. — [35] Lichtenberg, Super nova methodo motum ac naturam fluidi electrici investigandi, C. S. G., I, S. 65 ff. — [36] Hoppe, S. 84. — [37] F. Exner, Ueber transportable Apparate zur Beobachtung der atmosphärischen Elektrizität, S. A. W., M. N., XCV, S. 1084 ff. — [38] Duprez, L'électricité atmosphérique, L. J., 1872, S. 14 ff. — [39] Mühry, Die geographische Verteilung der atmosphärischen Elektrizität, P. G. M., XIX, S. 295 ff. — [40] Lord Kelvin-Maclean, Elektrization of the Air, N., L, S. 288 ff. — [41] Palmieri-Discher, S. 30. — [42] André, Sur l'apparence de l'électricité négative par beau temps, C. R., CXIV, S. 659 ff.; M. Smith, Notes on Atmospheric Electricity, P. E. S., XI, S. 613 ff. — [43] Schübler, Resultate einer Reihe von Untersuchungen über die atmosphärische Elektrizität, S. J. P., VII, S. 21 ff. — [44] v. Urbanitzky, S. 175 ff. — [45] Magie, Enquiry of the Atmospherical Electricity at the Sea, A. M. J., XI, S. 413 ff. — [46] Schübler, Bestimmung der täglichen Perioden der atmosphärischen Elektrizität, S. J. P., III, S. 123 ff. — [47] Roiti, Osservazioni continue della elettricità atmosferica istituite a Firenze in collaborazione col D. L. Pasqualini, Florenz 1884; L. E., XIII, S. 462 ff. — [48] Lemström, L'aurore boréale; étude générale des phénomènes produits par les courants électriques de l'atmosphère, Paris 1896, S. 411. — [49] Magrini, Osservazioni continue della elettricità atmosferica fatte a Firenze negli anni 1883, 84, 85, 86, Florenz 1888; M. Z., VIII, S. 357. — [50] Whipple, Observations of Atmospheric Electricity at the Kew Observatory during 1880, Rep. Brith. Assoc., York 1881, S. 442 ff. — [51] Ragona, Sul periodo diurno dell' elettricità atmosferica e della corrente tellurica ascendente, Annali della Meteorologia, I, 1881. — [52] E. Kircher, Messungen des normalen Potentialgefälles der atmosphärischen Elektrizität in absolutem Mafse, Saalfeld i. T. 1895. — [53] F. Exner, Weitere Beobachtungen über atmosphärische Elektrizität, S. A. W., M. N., XCVII, S. 277 ff. — [54] Elster-Geitel, Elektrische Beobachtungen auf dem Sonnblick, S. A. W., M. N., S. 37 ff. — [55] Cheauveau, Luftelektrische Beobachtungen in grösseren Höhen, M. Z., XI, S. 235 ff. — [56] v. Urbanitzky, S. 180 ff. — [57] Lemström, S. 112. — [58] A. Paulsen, Résumé de l'expédition polaire danoise, Kopenhagen 1884. — [59] Palmieri, Osservazioni sincrone dell' elettricità atmosferica entro e fuori le nubi, R. A. S. ., (2) III, S. 167 ff.; N. R., IV, S. 561 ff. — [60] Mendenhall, Report of Studies of Atmosferic Electricity, M. N. A. S., 1889, S. 115 ff. — [61] L. Weber, Besprechung hiezu, M. Z., X, S. (82). — [62] Lenard, Ueber die Elektrizität der Wasserfälle, A. P. C., (2) XLVI, S. 584 ff. — [63] K. F. Jordan, Die neuesten Forschungen über die atmosphärische Elektrizität, M. Z., X, S. 34 ff. — [64] Elster-Geitel, Wasserfallelektrizität, M. Z., X, S. 36. — [65] F. Exner, Beobachtungen über atmosphärische Elektrizität in den Tropen, S. A. W., M. N., 1889, S. 1004 ff.; 1890, S. 601 ff. — [66] Plinius, Historia naturalis, lib. II, cap. 37; Caesar, De bello Africano Comm., cap. XLVII; Albrecht. S. 4. — [67] B. Schmidt, Das Volksleben der Neugriechen und das hellenische Altertum, I, Leipzig 1871, S. 173. — [68] Waitz, S. 475; Hoppe, S. 159; G. A. P., LXX, S. 120. — [69] Prohaska, St. Elmsfeuer zu Gastein am 24. August 1895, M. Z., XIII, S. 157. — [70] Prohaska, Mitteilung über St. Elmsfeuer, M. Z., X, S. 222 ff. — [71] Eine elektrische Erscheinung auf Mt. Elbert in Colorado, M. Z., XIII, S. 153. — [72] Elektrische Erscheinungen auf dem Matterhorn, M. Z., XI, S. 28 ff.; Grossartiges St. Elmsfeuer? M. Z., XI, S. 29 ff. — [73] Obermayer, Ein negatives St. Elmsfeuer am Sonnblick, M. Z., VI, S. 30 ff. — [74] Obermayer, Versuche über die Elmsfeuer genannte Entladungsform der Elektrizität, S. A. W.,

M. N., XCVII, S. 247 ff. — [75] Priestley-Krünitz, Geschichte der Elektrizität, Berlin-Stralsund 1774, S. 251; Hoppe, S. 102. — [76] Elster-Geitel, Elektrische Beobachtungen auf dem Sonnblick, M. Z., VIII, S. 331 ff. — [77] v. Obermayer, Ueber die bei Beschreibung von Elmsfeuern notwendigen Angaben, M. Z., V, S. 324 ff. — [78] R. Wolf, Biographien zur Kulturgeschichte der Schweiz, IV, Zürich 1862, S. 261. — [79] v. Klenze, Elektrische Erscheinungen am Hochifen, M. d. ö. A., VII, 117 ff. — [80] W. Siemens, Beschreibung ungewöhnlich starker elektrischer Erscheinungen auf der Cheopspyramide während des Wehens des Chamsin, A. P. C., CIX, S. 355 ff. — [81] Rohlfs, Die Oase Djofra, Z. G. E. B., XV, S. 143 ff. — [82] Hoppe, S. 34. — [83] Ebenda, S. 18 ff. — [84] J. H. Winkler, Die Stärke der elektrischen Kraft des Wassers in gläsernen Gefässen, Leipzig 1746, S. 137 ff. — [85] Th. Fischer, Studien über das Klima der Mittelmeerländer, P. G. M., E. H. Nr. 58, S. 16; C. Neumann-Partsch, Physikalische Geographie von Griechenland mit besonderer Rücksicht auf das Altertum, Breslau 1885, S. 72. — [86] Ebenda, S. 74. — [87] Aristoteles, Meteorologia, lib. II. — [88] Hellmann, Ueber den chaldäischen Ursprung modernen Gewitteraberglaubens, M. Z., XIII, S. 236 ff. — [89] Meinardus, Ueber das Wetterleuchten, M. Z., XII, S. 14 ff. — [90] Mohn, Studien über die Hörbarkeit von Nebelsignalen, A. H. m. M., XX, S. 85 ff., 117 ff. — [91] v. Bezold, Die Untersuchungen über Gewitter in Bayern und Württemberg, Z. ö. g. M., XVIII, S. 200 ff. — [92] Arago, Notice sur le tonnerre, A. B. L., 1838, S. 219 ff. — [93] v. Lepel, Verzweigte Blitzstrahlen und ihre Nachahmung im kleinen, M. Z., VII, S. 223 ff. — [94] v. Frank, Blitzlängen, M. Z., IX, S. 308 ff. — [95] Reimann, Schleifenförmige Blitze, M. Z., VI, S. 216 ff. — [96] v. Lepel, Ueber die feuchten Funkenröhren und die Gewitterblitze, M. Z., VI, S. 154. — [97] W. Krebs, Farbe der Blitze, M. Z., VI, S. 30. — [98] H. Kayser, Ueber Blitzphotographien, S. A. B., 1884, S. 1119 ff.; Hoffert, Intermittent Lightning Flashes, P. M., (5) XXVIII, S. 106 ff. — [99] v. Urbanitzky, S. 466. — [100] Clayden, Note on some Photographs of Lightning and of „black“ Electric Sparks, P. M., (5) XXVIII, S. 92 ff. — [101] Kundt, Spektren der Blitze, A. P. C., CXXXV, S. 315 ff. — [102] Schellen, Die Spektralanalyse in ihrer Anwendung auf die Stoffe der Erde und die Natur der Himmelskörper, Braunschweig 1870, S. 447 ff. — [103] v. Urbanitzky, S. 503 ff. — [104] Ebenda, S. 515. — [105] Köhl, Ueber Kugelblitze, G., XVIII, S. 568 ff. — [106] v. Urbanitzky, S. 518 ff. — [107] Sauter, Ueber Kugelblitze, M. Z., XII, S. 241 ff. — [108] Wartmann, Ueber einen Kugelblitz, M. Z., VI, S. 119 ff. — [109] v. Urbanitzky, S. 420 ff. — [110] H. J. Klein, Das Gewitter und die dasselbe begleitenden Erscheinungen, ihre Eigentümlichkeiten und Wirkungen, sowie die Mittel, sich gegen Blitzverheerungen zu schützen, Graz 1881. — [111] Eine kugelblitzförmige Erscheinung, die durch Induktion entstanden ist, K. J., IV, S. 344 ff. — [112] v. Urbanitzky, S. 445 ff. — [113] Reimann, Kugelblitze, M. Z., XIII, S. 25. — [114] Pockels, Merkwürdige Blitze, M. Z., X, S. 73 ff. — [115] Planté-J. G. Wallentin, Untersuchungen über Elektrizität, Wien 1886, S. 151 ff. — [116] Ebenda, S. 127, 158. — [117] v. Danckelman, Regen, Hagel und Gewitter im Indischen Ozean, Hamburg 1880, S. 27 ff. — [118] Rohlfs, Elektrizitätsäusserungen in der Sahara, Z. w. G., VIII, S. 207 ff. — [119] Nachtigal, Sahara und Sudân, I, Berlin 1879, S. 139. — [120] H. J. Klein, Tafel der mittleren jährlichen Gewitterhäufigkeit für 219 Orte, P. G. M., XVI, S. 427. — [121] Fritz, Tafel der mittleren Gewitterhäufigkeit, P. G. M., XVII, S. 115. — [122] v. Bezold-Lang, Beobachtungen der meteorologischen Stationen in Bayern, I, München 1880, S. XXXVII. — [123] Rottée, Météorologie statistique des orages à grêle, des tempêtes, bourrasques, grêles et ouragans qui ont éclaté sur le territoire formant le département de l'Oise, Clermont e. A. 1866. — [124] Prohaska, Ergebnisse der Gewitterbeobachtungen in Steiermark, Kärnten und Oberkrain, während der Jahre 1885 und 1886, J. n. M. K., 19. Heft. — [125] Gutwasser, Ueber Blitzschläge auf Gebäude im Königreiche Sachsen, 75. Protokoll d. Vers. sächs. Ing.- u. Arch.-Vereine, Leipzig 1871. — [126] Holtz, Ueber die Zunahme der Blitzgefahr und ihre vermutlichen Ursachen, Greifswald 1881, Leipzig 1882. — [127] v. Bezold, Ueber zündende Blitze in Bayern während des Zeitraumes 1833 bis 1882, Z. ö. G. M., XX, S. 50 ff.; V. 4. d. G., Berlin 1884, S. 170. — [128] Freyberg, Zur Blitzgefahr im Königreiche Sachsen, E. Z., 1885, S. 263 ff., 369 ff. — [129] Kassner, Ueber Blitzschläge in Deutschland während der Jahre 1876 bis 1891, Merseburg 1892. — [130] Andries, Die Ursache der zunehmenden Zahl der Blitzschläge, P. G. M., XXXII, S. 55 ff. — [131] Meinardus, Die tägliche und jährliche Periode der Gewitter auf dem Ozeane, G., XXXII, S. 277 ff. — [132] Reimarus, Vom Blitze, Hamburg 1778; Ueber merkwürdige Blitzschläge und über Blitzleiter, G. A. P., VI, S. 120 ff.; IX, S. 480 ff.; XXXVI, S. 113 ff. — [133] P. Günther, Nachricht von der Wirkung eines Wetterstrahles am 19. August 1781 zu Gnadau bei Barby, W. W., 1782, S. 81. — [134] v. Yelin, Ueber den am 30. April 1822 erfolgten Blitzschlag auf den Kirchturm zu Rossstall im Rezatkreise, München 1823. — [135] Reich, Ueber die Wirkung einiger Blitzschläge in den Freiberger Gruben, A. P. C., LXV, S. 607 ff. — [136] O. Hoppe, Oberirdische und unterirdische Wirkungen eines Blitzstrahles, Leipzig 1893. — [137] Deschmann, Verlauf des Blitzes in einer Getreideharpfe, Z. ö. G. M., XIX, S. 376 ff. — [138] v. Urbanitzky, S. 583. — [139] Ebenda, S. 615 ff. — [140] Göppert, Die Rotbuche, ein Schutzmittel gegen Gewitter, Breslau 1827. — [141] Feye, Gewitter in den fürstlich lippeschen Forsten während der Jahre 1876 und 1877, Z. F. J., X, S. 543 ff. — [142] Blitzschläge in Bäume, K. J., III, S. 322 ff. — [143] Jonesco, Ueber die Ursachen der Blitzschläge in Bäume, W. N. J., 1892, S. 33 ff. — [144] Lehmann, Blitzgefahr, Baumart und Bodenart, W., 1887, S. 249 ff. — [145] Lakowitz, Ueber Blitzschläge in Bäume, G., XX, S. 187. — [146] Colladon, Renseignements sur un coup de foudre d'une intensité exceptionelle, C. R., CIV, S. 1136 ff.; v. Urbanitzky, S. 639 ff. — [147] v. Danckelman, Injuries, caused by Lightning in Africa, N., XXXI, S. 127. — [148] Hellmann, Beiträge zur Statistik der Blitzschläge in Deutschland, Z. p. S. B., 1886, S. 177 ff. — [149] v. Urbanitzky, S. 658 ff. — [150] Hildebrandsson, Merkwürdige Blitzschläge in Schweden, M. Z., XIII, S. 455 ff. — [151] Grassinger, Geschichte der Pfarrei und des Marktes Aibling, München 1857, S. 148. — [152] Poezinger, Ob das läuten der Glocken und lösen des groben Geschützes etwas zur Zerteylung der Gewitter beytrage, E. G. A., 1749, S. 201 ff. — [153] v. Boslarn, Von dem Glockenläuten beym Gewitter, Amberg 1775. — [154] J. N. Fischer, Beweiss, dass das Glockenläuten bey Gewittern mehr schädlich als nützlich sey, München 1784. — [155] J. Weber, Unterricht von den Verwahrungsmitteln gegen die Gewitter für den Landmann, samt der Untersuchung, was das Schiessen auf die Gewitter wirke, Augsburg 1784. — [156] Arbuthnot, Abhandlung über die Preisfrage, ob und was für Mittel es gebe, die Hochgewitter zu vertreiben und eine Gegend vor Schauer und Hagel zu bewahren, A. A. M., IX, S. 399 ff. — [157] Imhof, Ueber das Schiessen gegen heranziehende Donner- und Hagelgewitter, München 1811. — [158] Hemmer, De fulminis ictibus in campanas, quae pulsantur, ubi electricitas nubium ac fulminis theoria nova et uberiore luce perfunduntur, A. A. T. P., V, S. 237 ff. — [159] Plac. Heinrich, Abhandlung über die Wirkung des Geschützes auf Gewitterwolken, N. p. A. A. W., V, S. 1 ff. — [160] Arbuthnot, S. 426 ff. — [161] Lichtenberg-Kries, Vermischte Schriften, III, Göttingen 1804, S. 251 ff. — [162] Ostertag, Antiquarische Abhandlung über Gewitterableiter, Sulzbach 1810. — [163] Munk, Blitzableiter im Altertum, A. P. C., (2) I, S. 320. — [164] E. Hoppe, S. 41; Albrecht, S. 92; Rosenberger, II, S. 315 ff. —

[165] E. Hoppe, S. 36 ff. — [166] Franklin, New Experiments and Observations on Electricity made at Philadelphia and communicated in several Letters to Mr. Collinson, London 1769, S. 111 ff. — [167] E. Hoppe, S. 39. — [168] Ebenda, S. 11, 56. — [169] J. Müller, S. 755 ff. — [170] Schellen, Der elektromagnetische Telegraph, Braunschweig 1867, S. 273 ff. — [171] Zenger, Blitzableiterkonstruktionen, G., XX, S. 168 ff. — [172] L. Weber, Die Blitzableiter der internationalen elektrischen Ausstellung in Wien 1883, Z. E. W., 1884, 2. Heft; E. Z., 1884, S. 36 ff. — [173] Häpke, Ueber Blitze und Blitzableiter, A. N. V. B., XIV, S. 151 ff. — [174] Bruhns, A. v. Humboldt, eine wissenschaftliche Biographie, I, Leipzig 1872, S. 79. — [175] Horner, Bemerkungen über Blitzableiter, ihren Nutzen und Schaden, Zürich 1816. — [176] Charles, Précis de quelques expériences électriques, J. P., XXX. — [177] Karsten, Gemeinfassliche Bemerkungen über die Elektrizität des Gewitters und über die Wirkung der Blitzableiter, Kiel 1879, S. 29. — [178] Kuhn, Handbuch der angewandten Elektrizitätslehre, Leipzig 1866. — [179] Holtz, Ueber die Theorie, die Anlage und die Prüfung der Blitzableiter, Greifswald 1878. — [180] Neesen, Die Blitzgefahr, Berlin 1891. — [181] Lindner, Anleitung zur Herstellung und Prüfung von Blitzableiteranlagen, Weimar 1892. — [182] Diskussion über Blitzableiter in der Versammlung der British Association zu Bath 1888, M. Z., VI, S. 11 ff.; C. T., XIV, S. 315 ff. — [183] Melsens, Sur les paratonnerres, Brüssel 1881. — [184] Mach, Versuche und Bemerkungen über das Blitzableitersystem des Herrn Melsens, Wien 1883. — [185] Cl. Hess, Ueber die Spitzen der Blitzableiter, M. Z., VIII, S. 314 ff. — [186] Holtz, Ueber einen Mittelweg zwischen dem Franklinschen und dem Melsensschen Blitzableitersysteme, C. El., V, S. 706 ff. — [187] v. Urbanitzky, S. 603 ff. — [188] A. Wichmann, Ueber Fulgurite, Z. d. g. G., XXXV, S. 849 ff. — [189] A. Heim, Ueber die Verwitterung im Gebirge, Basel 1879, S. 8. — [190] Humboldt, Kosmos, IV, S. 429. — [191] Arago, Sur les tubes vitreux, A. C. P., XIX, S. 155 ff. — [192] Abich, Die Fulguriten im Andesit des Kleinen Ararat, S. A. W., M. N., 1870, S. 153 ff. — [193] Böttiger, Einiges aus dem Altertum über Blitzröhren, G. A. P., XII, S 317 ff.; v. Urbanitzky, Elektrizität und Magnetismus im Altertum, Wien 1887, S. 161 ff. — [194] Lucanus, Pharsalia, lib. I, v. 606. — [195] L. D. Hermann, Masslographia, Beschreibung des schlesischen Massel im Fürstentum Oels mit seinen Schauwürdigkeiten, Brieg 1711. — [196] Echterling-R. Brandes, Ueber Blitzröhren oder Fulgurite, K. A., IX, S. 295 ff. — [197] C. H. Pfaff, Beobachtete Entstehung einer Blitzröhre durch den Blitz, G. A. P., LXXII, S. 161 ff. — [198] K. G. Fiedler, Ueber Blitzröhren, G. A. P., LV, S. 121 ff.; LXI, S. 235 ff.; LXVIII, S. 209 ff.; LXXI, S. 301 ff.; LXXIV, S. 213 ff. — [199] Harting, Notice sur un cas de formation des fulgurites, Amsterdam 1873. — [200] Versuche über die Bildung von Blitzröhren, A. P. C., XIII, S. 117 ff. — [201] Wichmann, S. 853. — [202] Hoh, Merkwürdiger Blitzschlag, A. P. C., CXXXI, S. 494 ff. — [203] E. Spiess, Ueber einen Fulguritfund im Diluvialsande der Umgebung von Nürnberg, A. N. G. N., X, S. 19 ff. — [204] v. Urbanitzky, S. 607 ff. — [205] v. Gümbel, Ueber die Bildung von Stylolithen und über Fulgurite, Z. d. g. G., XXXIV, S. 642 ff. — [206] Wichmann, S. 858. — [207] Diller, Fulgurite from Mount Thielson, S. J., (3) XXVIII, S. 252 ff. — [208] G. P. W., V, 2, S. 790 ff. — [209] Steinvorth, Beiträge zur Frage nach den Irrlichtern, Lüneburg 1895. — [210] Müller-Erzbach, Ueber die Beobachtung von Irrlichtern, A. N. V. B., XIV, S. 217 ff. — [211] Bessel, Gibt es Irrlichter? A. P. C., XLIV, S. 366 ff. — [212] Hellmann, Repertorium der deutschen Meteorologie, Leipzig 1883, Sp. 188. — [213] K. Heller, Irrlichtbeobachtungen, A. P. C., CI, S. 158. — [214] Volta, Lettera sull' aria inflammabile nativa delle paludi, Como 1776. — [215] Kastner, Handbuch der Meteorologie, I, Erlangen 1823, S. 416 ff. — [216] Chladni, Ueber den Ursprung der von Pallas gefundenen und einige ähnliche Eisenmassen, Leipzig 1794, S. 334 ff. — [217] Rosenberger, II, S. 187. — [218] G. P. W., V, 2, S. 795. — [219] A. P. C., LXXXII, S. 593; A. P. C., LXXXIX, S. 620; Ntr., 1882, Nr. 6. — [220] Haltermann, Ueber Elmsfeuer auf See, A. H. m. M., 1896, S. 259 ff. — [221] Schuster, Atmosphärische Elektrizität, M. Z., XIII, S. 215 ff. — [222] Mühry, Die geographische Verteilung der atmosphärischen Elektrizität, P. G. M., XIX, S. 272 ff. — [223] Giordano, Sulla origine della elletricità dell' atmosfera, R. J. L., (2) V, S. 759 ff. — [224] Lemström, Observations sur l'électricité de l'air, et de l'aurore boréale, A. s. p. n., (2) XII, S. 147 ff. — [225] Suchsland, Die gemeinschaftliche Ursache der elektrischen Meteore und des Hagels, Halle a. d. S. 1886. — [226] Sohncke, Gemeinverständliche Vorträge aus dem Gebiete der Physik, Jena 1892, S. 173 ff.; H. E., I, S. 445 ff. — [227] Jordan, S. 150 ff. — [228] Kiesel, Die atmosphärische Elektrizität, Berlin 1887, III. — [229] Kleiber, Ueber Sternschnuppen, St. Petersburg 1883 (russisch). — [230] Saussure, Voyage dans les Alpes, Neuchâtel 1779—96. — [231] Pouillet, Sur l'électricité des fluides élastiques et sur une des causes de l'électricité de l'atmosphère, A. C. P., XXXV, S. 401 ff. — [232] Waitz, S. 470 ff.; v. Urbanitzky, S. 188 ff.; Riess, Die Lehre von der Reibungselektrizität, I, Berlin 1853, S. 492 ff. — [233] Palmieri-Discher, S. 45, 50. — [234] Wettstein, Die Beziehung der Elektrizität zum Gewitter, V. N. G. Z., XIV, S. 60 ff. — [235] Jordan, S. 90 ff. — [236] v. Urbanitzky, S. 182 ff. — [237] Linss, Der Ursprung der Gewitterelektrizität, M. Z., I, S. 464 ff. — [238] Wurster, Die Aktivierung des Sauerstoffes der Atmosphäre, B. D. C. G., XIX, 2, S. 3208 ff. — [239] Sohncke, Gem. Vortr., S. 181. — [240] Becquerel, Mémoire sur l'origine probable solaire de l'électricité atmosphérique, C. R., LXXV, S. 1045, 1146. — [241] Faye, Lettre à M. Becquerel, C. R., LXXV, S. 1155. — [242] W. Siemens, Ueber die Zulässigkeit der Annahme eines elektrischen Sonnenpotentiales und dessen Bedeutung zur Erklärung terrestrischer Phänomene, S. A. B., März 1883; William Siemens, Ueber die Erhaltung der Sonnenenergie, Berlin 1885. — [243] H. J. Klein, Die Fortschritte der Astronomie 1885, Köln-Leipzig 1886, S. 11 ff. — [244] Zehnder, Ueber atmosphärische Elektrizität, D. P. J., CCXLIX. S. 395 ff.; Ueber den Bau der Kometen, K., (2) I, S. 186 ff. — [245] Jordan, S. 257 ff. — [246] Peltier, Recherches sur les causes de l'électricité des nuages, C. R., XII, S. 307 ff. — [247] v. Lamont, Beschreibung der an der Münchener Sternwarte für Beobachtungen verwendeten neuen Instrumente und Apparate, München 1851, S. 147 ff. — [248] Nahrwold, Ueber Luftelektrizität, A. P. C., (2) XXXI, S. 148 ff. — [249] F. Exner, Ueber die Abhängigkeit etc., S. 237. — [250] Elster-Geitel, Beobachtungen über atmosphärische Elektrizität, R. E., XXIV, S. 486 ff. — [251] F. Exner, Weitere Beobachtungen über atmosphärische Elektrizität, R. E., XXIV, S. 677 ff. — [252] Arrhenius, Ueber den Einfluss der Sonnenstrahlung auf die elektrischen Erscheinungen in der Atmosphäre, M. Z., V, S. 297 ff., 348 ff. — [253] H. Hertz, Ueber einen Einfluss des ultravioletten Lichtes auf die elektrische Entladung, A. P. C., (2) XXXI, S. 983 ff. — [254] Sohncke, S. 185 ff. — [255] Elster-Geitel, Ueber die Entladung negativ-elektrischer Körper durch das Sonnen- und Tageslicht, A. P. C., (2) XXXVIII, S. 497 ff.; XLI, S. 161 ff.; XLIII, S. 225 ff.; XLIV, S. 722 ff. — [256] Wiedemann-Ebert, Ueber elektrische Entladung, A. P. C., (2) XXXIV, S. 643 ff. — [257] Elster-Geitel, Ueber einige Ziele und Methoden luftelektrischer Untersuchungen, Wolfenbüttel 1891. — [258] Spring, Sur le siège des ouragans et leur origine, R. Sc., 1880, S. 193 ff.; Ueber die Ursache der Elektrizität der Gewitterwolken, Z. ö. G. M., XVII, S. 468 ff. — [259] A. Fick, Hypothese über die Entstehung des Blitzes, V. p. m. G. W., 1883, S. 63 ff. — [260] H. J. Klein, Ueber die Entstehung des Blitzes, G., XIX, S. 590 ff. — [261] Tait, Remarks on the Spring of the Atmospherical Electricity, N., XXXIX,

S. 517. — [262] Sohncke, Der Ursprung der Gewitterelektrizität und der gewöhnlichen Elektrizität der Atmosphäre, Jena 1885; Gem. Vortr., S. 202 ff. — [263] Luvini, Sull' origine dell' elettricità, atmosferica, dei temporali e delle eruzioni volcaniche, R. S. J., XVI, Nr. 11—18; N., XXXI, S. 14. — [264] Sohncke, Elektrisierung von Eis durch Wasserreibung, A. P. C., (2) XXVII, S. 550 ff. — [265] Sohncke, Gem. Vortr., S. 206. — [266] Ciro Ferrari, Disposizione delle superfici isotermiche in un temporale, L. E., VI, Nr. 35. — [267] Assmann, Die Gewitter in Mitteldeutschland, Halle a. d. S. 1886. — [268] Sohncke, Gewitterelektrizität und gewöhnliche Luftelektrizität, M. Z., V, S. 413 ff. — [269] F. Exner, Bemerkungen zu Sohnckes Theorie der Gewitterelektrizität, R. E., XXV, S. 743 ff.; Kollert, Die neueren Beobachtungen und Theorien der atmosphärischen Elektrizität, E. Z., 1887, S. 324 ff. — [270] E. Hoppe, Ueber atmosphärische und Gewitterelektrizität, M. Z., II, S. 104 ff. — [271] Beccaria, Dell' electtricità terrestre atmosferica a cielo sereno, Turin 1775. — [272] E. Gerland, Ueber die Entstehung der Elektrizität bei Gewittern, E. Z., 1884, S. 292 ff. — [273] Andries, Ueber Gewitter- und Hagelbildung, A. H. m. M., 1885, S. 125 ff. — [274] Edlund, Sur l'origine de l'électricité atmosphérique, du tonnerre et de l'aurore boréale, Stockholm 1883.

Kapitel V.

Kosmische Meteorologie.

§. 1. Himmelskörper und Erdatmosphäre im allgemeinen. Die älteste Form der Meteorologie war, wie wir (S. 2) schon wissen, die Astrometeorologie, ein passender Name, den im XVII. Jahrhundert Goad [1] aufgebracht zu haben scheint, und zweckmässiger, als Siegesbecks [2] meteorische Astrologie, jedoch nicht so präzis wie das von Faye [3] vorgeschlagene Wort kosmische Meteorologie. Wir fassen dieses Wort hier im allerweitesten Sinne, indem wir uns die Aufgabe stellen, alle angeblich von Himmelskörpern auf unsere Lufthülle geübten Einwirkungen prüfend zu erörtern. Eine ältere Schrift [4] des Verfassers wird dabei als Leitschnur dienen, aber daneben wird auch die sehr umfassende Darstellung van Bebbers [5] mit grossem Vorteile zu Rate gezogen werden.

Die antike Astronomie liebte es, ihre Witterungsregeln an die Auf- und Untergänge gewisser Gestirne anzuknüpfen; zu dem Ende sind seit Hesiod in alle dichterischen und prosaischen Schriften, welche sich mit dem Ackerbau beschäftigen, astrometeorologische Hinweise aufgenommen worden, und in der athenischen Glanzzeit war es ein stehendes Geschäft der Astronomen, solche Tabellen anzufertigen und sie als Parapegmen (παραπηγνύναι, anheften) öffentlich zur Schau zu stellen [6]. Auch noch Ptolemäus, der sonst so vorurteilsfreie Astronom, dachte kaum klarer hierüber, als der neuerdings durch Prince [7] uns wieder näher gerückte didaktische Dichter Aratus, denn die „Apparentiae stellarum inerrantium" sind nichts weiter als ein meteorologischer Kalender [8]. Das Mittelalter verharrte selbstverständlich auf diesem Standpunkte, und noch im XVI. Jahrhundert war derselbe selbst für Gelehrte der allein massgebende, wie u. a. der mit allem Apparate ausgestattete Traktat des Johann von Glogau [9] beweisen mag. Auch Kepler hatte sich — man vergleiche die eingehenderen Nachweisungen bei Brocard [10] — keineswegs aus diesem Gedankenkreise gänzlich losgemacht. Erst gegen Ende des XVII. Jahrhunderts häufen sich allmählich, zumal in der Dissertationenlitteratur, die Proben einer freieren Denkart [11], aber man würde irren, wenn man selbst heute den alten Wahnglauben für endgültig überwunden halten wollte.

§. 2. Planeten, Kometen und Wetter. Die ältere Astrometeorologie hielt sich, dem griechischen Muster getreu, in erster Linie an die Fixsterne. Aber auch noch viel später spukt der hellenische Witterungskalender, dem ja im Hinblick auf das stabile Klima seines Vaterlandes eine relative Bedeutung nicht abgesprochen werden kann, in Deutschland und in anderen Ländern. Die bekannten Bauern-

regeln, deren Lebenszähigkeit eine geradezu verwunderliche ist, gehören wenigstens zum Teile in diese Kategorie.

Bezüglich der letzteren liegt eine interessante Studie von Eisenlohr [12] vor. Danach sind von 93 Volksregeln der bezeichneten Art nur 9 ganz vernünftig und zuverlässig (vgl. S. 2), 11 noch leidlich vertrauenswürdig, 17 unsicher, 44 wertlos und 12 völlig unsinnig.

Seit zweihundert Jahren etwa hat man den Planeten und Kometen einen nachhaltigeren Einfluss auf die irdische Witterung als den Fixsternen zuzuschreiben begonnen. Hieher gehören u. a. die Schriften eines gewissen Stöwe [13], hieher diejenigen F. A. Schneiders [14], welche immerhin ihrer Zeit ein gewisses Aufsehen zu machen nicht verfehlten.

Stöwe war ein Vorgänger Falbs insofern, als er kritische Tage, d. h. abnorme Witterungszustände für alle jene Fälle prognostizierte, in denen irgend drei Himmelskörper sich auf einer geraden Linie befinden Er ging somit noch allgemeiner vor, als dies von seinem Nachfolger geschieht. Noch gründlicher fasste Schneider seine Aufgabe auf, den Planeten als eigentlichen Witterungsregenten zur allgemeinen Anerkennung zu verhelfen.

In ganz anderen, und zwar in echt wissenschaftlichem Geiste sind gewisse, früher (I, S. 80) von uns berührte Bestrebungen aufzufassen, die Fleckenfrequenz der Sonne, welche doch (s. u. in §. 4) einen nicht ganz unwichtigen meteorologischen Faktor darstellt, mit den Einwirkungen der Planeten in eine gewisse Beziehung zu setzen [15]. Ueber das Für und Wider — und das letztere dürfte zuletzt ausschlaggebend sein — hat sich auch Lamey [16] des Näheren ausgesprochen.

Wenn man von dem Volksaberglauben absieht, dessen Humboldt [17] gedenkt, dass nämlich Kometenjahre zugleich die besten Weinjahre seien, so lässt sich auch dafür, dass diese aus feinster Materie (I, S. 85) gebildeten Schweifsterne die Erdatmosphäre irgendwie aus ihrem Gleichgewichte bringen könnten, keinerlei triftiger Grund anführen. Eher könnte man noch an die Meteorschwärme denken. Wir wissen (I, S. 94), dass manche derselben mit den Kometen wesensgleich sind, und da zwischen Meteoriten und Erde so viele unmittelbare Berührungen stattfinden, so könnte eine meteorologische Einwirkung der ersteren vielleicht nicht ganz ferne liegend erscheinen.

Eine barometrische Tagesschwankung von ungewöhnlich kleiner Amplitude, welche sich lange erhielt, wollte Grablowitz [18] mit der Annäherung des Bielaschen Kometen an die Erde (I, S. 86) in Kausalverbindung bringen, aber von einer Bestätigung der an sich wenig wahrscheinlichen Annahme verlautete nichts. Wichtiger schien A. Ermans [19] Erklärung, der (s. u. in Kap. VII) die in Westeuropa so regelmässig wiederkehrenden Maifröste darauf zurückführen wollte, dass gerade in der dritten Pentade jenes Monates ein Meteorschwarm zwischen Sonne und Erde trete und eine Art kleiner, d. h. nur durch Temperaturrückgang bemerkbar werdender Sonnenfinsternis hervorbringe. Man ist ganz und gar von diesem Erklärungsversuche zurückgekommen [20], obwohl sogar ein Bessel demselben zustimmte [21]. Man kann wohl annehmen, dass die Beobachtung Capoccis in Neapel, welcher in der kritischen Zeit einmal schwarze Punkte das Gesichtsfeld seines auf die Sonne gerichteten Fernrohres durchziehen sah, falsch ausgelegt worden war [22].

§. 3. **Der Mond als meteorologischer Faktor.** Wie tief im Volke der Irrglaube verbreitet ist, dass der Mond das Wetter regiere, weiss jedermann, und ebenso steht fest, dass diese Ueberzeugung, zumal in die Form gebracht, der Mondwechsel bedinge Witterungsumschlag,

unausrottbar ist. Gewiss steckt in dem Wahne ein Körnchen Wahrheit, aber es ist nicht leicht, dasselbe aus dem verwirrenden Spiele der Erscheinungen herauszufinden. Wir wollen zunächst zusehen, wie man sich in früherer Zeit den Sachverhalt zurechtlegte, und wie dann auch noch in unseren Tagen eine ungezügelte Phantasie alle Vorkommnisse innerhalb der Atmosphäre ausschliesslich von unserem Trabanten abhängig machen wollte. Die eigentlich wissenschaftlichen Bemühungen um die Lösung der Frage sollen dann in einem besonderen Paragraphen vereinigt werden.

Nachdem man durch Newton das Wesen und die hohe Bedeutung der allgemeinen Schwere kennen gelernt hatte, ging man sofort darauf aus, jene Lehre von der Ebbe und Flut der Meere, welche eben der grosse englische Denker geschaffen hatte, auch auf das Luftmeer zu übertragen, ohne zu bedenken, dass durch den Aggregatzustand des letzteren eine totale Aenderung des Verhaltens bedingt sein könne. v. Segner [23] und Kratzenstein [24] gingen voran; ja, D'Alembert [25] begründete sogar seine — in mathematischer Hinsicht — mit Recht berühmt gewordene Theorie der Winde auf den Mondeinfluss; eine Einseitigkeit, welche Daniel Bernoulli in einem Briefe an Euler mit herben Worten verurteilte [26]. Obwohl es auch nicht an einsichtigen Männern fehlte, welche, wie Sigorgne [27], Lambert [28], Frisi [29] und Kies [30] in den Bewegungen des Barometers durchaus keine namhaften lunaren Elemente zu erkennen vermochten, so gelang es doch zwei sonst recht verdienten italienischen Meteorologen, Toaldo [31] und Chiminello [32], nicht bloss die Lehre vom überwiegenden Einflusse des Mondes in der öffentlichen Meinung aufs neue zu befestigen, sondern sogar für einen meteorologischen Saros (chaldäisches Wort) Stimmung zu machen, der mit der bekannten Metonschen Periode von 19 tropischen Sonnenjahren und 223 synodischen Mondmonaten zusammenfallen sollte. In Deutschland gehörten vornehmlich Hanow [33], Höslin [34] und der bekannte Statistiker Gatterer [35] zu den Vertretern der Ansicht, dass die Witterung nach Umfluss einer bestimmten Reihe von Mondumläufen völlig wieder die gleichen Züge annehmen müsse. Sehr eingehend beschäftigten sich die pfälzische und die kurbayerische Akademie mit dem Probleme, das Wetter aus den Mondtafeln prognostizieren zu können; Preisaufgaben wurden gestellt und, in sehr verschiedenem Sinne, bearbeitet; Chiminellos „Giornale astrometeorologico“ hielt sich, als dem Zeitgeschmacke in hervorragendem Maſse huldigend, von 1773 bis 1798. Sehr klug verhielt sich die Kritik Kants [36], welche an das für Toaldo günstige Urteil Lichtenbergs [37] anknüpfte, selbst aber zum entgegengesetzten Resultate führte, dass nämlich eine zweifellose Abhängigkeit des Witterungsganges von den Mondstellungen nicht nachzuweisen sei.

Die Periodenlehre konnte auch im XIX. Jahrhundert nicht zur Ruhe kommen, und zwar trotz der negativ endenden statistischen Untersuchungen [38] von Gronau, Horsley und Varese, trotz der klaren, ablehnenden Erörterungen, welche ein Olbers [39], ein Brandes [40], in mehr populärer Darstellung Mauritii [41] dem vielumstrittenen Gegenstande widmeten. Denn auf der anderen Seite gaben sich der fleissige Schübler [42] und sein Schüler Baumann [43] die redlichste Mühe, Periodizitäten nachzuweisen, und C. H. Pfaff [44] vermeinte sogar eine vom Monde abhängige, hundertjährige Witterungsperiode herausgefunden zu haben. Da man (s. u. in Kap. VI, §. 1) auf keine andere Art über die anscheinend unbezwingbare Anarchie der meteorologischen Ereignisse Herr werden zu können glaubte, so verloren solche auf „Periodenjagd“ abzielende Untersuchungen erst spät ihren Kredit bei Volk und Gelehrtenwelt.

Die Statistik, welche damals noch lange nicht so ausgebildet war, um mit vollem Vertrauen auf Studien von so schwierigem Charakter und auf ein vielfach unzulängliches Beobachtungsmaterial angewendet werden zu können, konnte überhaupt keine ganz befriedigende Auskunft über die Dinge geben. Dies wäre erst dann möglich gewesen, wenn die theoretische Meteorologie, den statistischen

Pfadfinderversuchen folgend, zugleich die Gesetzmässigkeit der errechneten Perioden zu begründen in der Lage gewesen wäre, doch davon blieb sie weit entfernt. Ohne Zweifel hat die Wissenschaft ein gutes Recht, die periodische Wiederkehr gewisser Naturerscheinungen für ein würdiges Forschungsobjekt zu halten, allein dann muss, wie die Fortsetzung dieses Kapitels und Kap. IX zeigen werden, in ganz anderer Weise zu Werke gegangen werden. Wir verweisen auf P. Schreibers Darstellung [45], um die grossen Schwierigkeiten und Bedenken, welchen in solchem Falle Rechnung zu tragen ist, ins richtige Licht zu stellen.

Im Geiste einer geläuterten Statistik trat zuerst Eisenlohr [46] an das Problem heran, die Abhängigkeit der Barometerstände von den Mondpositionen zu prüfen, indem er sich dabei hauptsächlich auf die langjährige Strassburger Beobachtungsreihe Herrenschneiders [47] stützte. Die Ergebnisse waren der Lehre von den Mondgezeiten wenig günstig; noch weniger freilich waren es die von Flaugergues [48], der die unerwartete Behauptung aufstellte, die Attraktion des Mondes vermindere den Luftdruck. Immerhin wurde, zumal nachdem insbesondere Beobachtungen aus der Tropenzone in grösserer Menge bekannt worden waren, doch auch von ernsten und unbefangenen Forschern das Zugeständnis gemacht, dass zwischen Barometerstand und Mondörtern eine Beziehung obwalte, und damit stimmte auch die theoretische Bestimmung des Betrages der lunaren Luftdruckschwankung überein, welche Bouvard [49] durch Verwertung der von Laplace [50] entwickelten Formeln erbracht hatte; er fand für Paris nur 0,01763 mm, so dass letzterer mit gutem Grunde sagen konnte, solche Kräfte seien zwar qualitativ vorhanden, man vermöge sie aber kaum mehr quantitativ in Rechnung zu stellen. Allerdings sind gegen Laplaces Art der Rechnung Einwände von Knorr [51] erhoben worden, und auch durch v. Hoff [52], Ballo [53], Prestel [54] und Lüdecke [55] wurde eine gewisse Mitwirkung der Mondgezeiten bei der Gestaltung der Barometerhöhen zu Ehren zu bringen gesucht, während Kreil [56] auch noch andere meteorologische Faktoren, als bloss den Luftdruck, berücksichtigt wissen wollte. Auch den aus der heissen und subtropischen Zone stammenden Mitteilungen von Sabine [57], Elliot [58], Neumayer [59] und Bergsma [60] ist eine gewisse Gezeitenwirkung des Mondes bezüglich unseres Luftkreises zu entnehmen, aber eben nur in Gebieten, welche sich durch die Regelmässigkeit ihres Klimas und Witterungsverlaufes auszeichnen, gelingt es, mit Exaktheit die Komponente der Gravitationswirkung des Mondes aus den sie im gemässigten Erdgürtel verhüllenden anderweiten Einflüssen herauszuschälen. Nachdem auch noch Streintz [61] mittelst der strengen Methoden des Wahrscheinlichkeitskalkuls die meteorologische Bedeutung des Mondes vollständig in das Bereich des Unbeweisbaren verwiesen hatte, schien es, bei sorgfältiger Abwägung des Für und Wider, möglich, zu einer einstweiligen Entscheidung sich zu erheben, und so wurde schon früher eine These aufgestellt, an welcher auch jetzt noch keine Aenderung angebracht werden zu müssen scheint. Die These lautet [62]: Die lunaren Gezeiten sind, obwohl thatsächlich vorhanden, nicht stark genug ausgeprägt, um erhebliche Veränderungen im Bewegungszustande unserer Lufthülle von sich aus zu bewirken, wohl aber stark genug, um schon vorhandene Bewegungsvorgänge leicht unterstützend oder hemmend zu beeinflussen und auch unter günstigen Verhältnissen, wie sie sich etwa zwischen den Wendekreisen darbieten, messbare Oszillationen des Barometerstandes (etwa 0,1 mm) hervorzubringen.

Weit über die vorstehend gezogene Grenzlinie, durch welche den meteorologischen Bethätigungen unseres Satelliten ein allerdings ziemlich bescheidener Raum angewiesen wird, sind nun allerdings in späterer Zeit Mathieu de la Drôme, Overzier und Falb hinausgegangen, welche, bei mancher sonstigen Verschiedenheit, darin einig waren, den Mond zum eigentlichen und nahezu einzigen Regulator der Witterungsvorgänge zu stempeln. So wenig strenge

Wissenschaft auch in diesen Bestrebungen zu erblicken ist, so darf doch diese Entwickelungs- und Durchgangsphase keinesfalls gänzlich mit Stillschweigen übergangen werden. Auch bewährte Fachmänner haben es als eine Sache der Pflicht erkannt, gegen diese neuesten Phantasiegebilde entschiedene Stellung zu nehmen.

Mathieu de la Drômes Prognosen [63], welche sich ausschliesslich an die Mondphasen und an die gefallenen Regenmengen hielten, werden von van Bebber [64] zutreffend als eine Art Fortsetzung des bekannten — und noch heute seine Verehrer findenden — hundertjährigen Kalenders bezeichnet, welcher nach Hellmann [65] wahrscheinlich auf den fränkischen Abt Knauer (1612 bis 1664) zurückgeht. In welchem Maſse dieses Machwerk Schule bildend wirkte, bezeugt die inhaltreiche Monographie von Berthold [66], und so dürfen wir auch über den französischen Ableger uns nicht eben wundern. — Overzier, der seine Gedanken bloss in Flugblättern und kleinen Prognosenheftchen dem Publikum vorlegte [67], ist schwer richtig zu beurteilen, weil er, trotz temperamentvoller Sprache, es niemals zu sachlicher Präzisierung der Hauptpunkte seines Systemes brachte. Jedenfalls ist er den überzeugten Verfechtern der Mondgezeitenlehre beizuzählen, aber ausserdem wusste er von einer — übrigens auch bei Arago [68] schon erwähnten — löcherbildenden Kraft des Mondes zu berichten; schon aus rein geometrischen Gründen kann davon nicht die Rede sein, da ja sonst eine Wolke nur eine Ansammlung von Löchern sein würde. — Gewiss am meisten machte Falb von sich reden, dessen uns schon bekannte Theorie der vulkanisch-seismischen Phänomene (I, S. 422) mit seinen meteorologischen Ansichten aus gleicher Wurzel entsprossen ist. Seine Publikationen, von denen hier nur wenige angeführt werden können [69], waren ursprünglich wissenschaftlichen Interesses durchaus nicht bar, litten aber, je länger je mehr, an ungeheuerlicher Uebertreibung eines Prinzipes, über dessen Berechtigung innerhalb enger Grenzen sich allenfalls reden lassen würde. Es ist das schon oben, bei Stöwe (S. 164), erwähnte Prinzip der kritischen Tage. Es werden drei Ordnungen solcher Tage unterschieden; an kritischen Tagen erster Ordnung ist, wenn man allerdings den Geltungszeitraum über einige Tage vor- und nachher ausdehnt, ein Wettersturz angeblich mit Sicherheit zu erwarten, und bei der heutigen Verbreitung irgend merkwürdiger Nachrichten durch die Tagespresse lässt sich ein Beleg für die Richtigkeit der Prognose fast unter allen Umständen ausfindig machen. Am bestimmtesten hat Pernter [70] dargethan, dass Falbs statistische Methode auf durchaus falscher Grundlage beruhe, und dass man mit ihr schliesslich alles und jedes beweisen könne. Die Kritik hat, dies ist der Ausgangspunkt Pernters, nicht allein nach den sogenannten Treffern, sondern auch danach sich zu erkundigen, ob die als Beweisstücke verwerteten Vorkommnisse entweder nur an kritischen Tagen oder doch an diesen häufiger als an anderen sich nachweisen lassen. Da Falb selbst weniger auf das Barometer Gewicht legt, so ist um so mehr das Ombrometer (S. 70), der „Regenpegel“, zum Gradmesser für die Brauchbarkeit der Prognosen zu machen. Folgende Niederschlagsmengen (in mm) lieferten die aus sämtlichen Stationen gezogenen Aufzeichnungen der Wiener Zentralanstalt für Meteorologie und Erdmagnetismus:

	1888	1889	1890	1888—90
Gesamtheit der Niederschlagsmengen .	49 107	51 807	49 892	150 806
„Kritische“ Pentade	17 184	16 754	15 022	48 950
„Antikritische“ Pentade	16 976	18 138	17 340	52 464
Drittel der Gesamtheit	16 336	17 269	16 631	50 279

Während also Falb erklärt, es regne stets am meisten in jenen Monatsteilen, zu denen Voll- und Neumond gehören, lehren uns die Ziffern der gewiss mit grossen Zahlen operierenden und daher einwurfsfreien Tabelle, dass die „kritische“ Pentade nicht bloss hinter dem Gesamtdrittel, sondern sogar hinter der „antikritischen“ Pentade zurückbleibt, die also doch angeblich die geringste Regenwahrscheinlichkeit liefern würde. Und so, wie bei den Niederschlagsbeobachtungen, steht es auch

im übrigen. „Alle Tage einer Mondperiode," so schliesst Pernter seine Analyse ab [71], „sind fast ganz gleich mit jenen Erscheinungen bedacht, welche Falb speziell den kritischen Tagen zuschreibt, und letztere zeigen keine Bevorzugung, wenn nicht etwa eine so minimale, dass sie für jede praktische Verwertung zu einer Prognose untauglich ist. Falb ist somit durch die Thatsachen selbst ins Unrecht gesetzt." Ebenso, wie mit der Falbschen Ansicht steht es auch mit derjenigen Friesenhofs [72], obwohl letzterer sich anerkennenswert bestrebt, die heute von der Meteorologie angenommene Theorie der Zyklonal- und Antizyklonalbewegung mit den lunaren Flutfaktoren organisch zu verknüpfen. Allein sein Versuch, eben diese Flutfaktoren durch Zahlwerte auszudrücken, kann nicht als ein gelungener betrachtet werden.

Die auch grossenteils einen Niederschlag Falbscher Gedanken darstellenden, von gleicher Abneigung gegen die „zünftige" Meteorologie getragenen Litteraturprodukte von Röttger [73] und G. Jäger [74] genüge es hier zu citieren. Immerhin wird Jägers Wetterkarte, welche in einer dem Autor eigentümlichen Symbolik gehalten ist, auch von unparteiischer Seite als beachtenswert anerkannt [75].

Auf ein etwas anderes Gebiet führen uns die Wetterperioden von G. Lamprecht [76], denn welche Stellung man auch seinen Ergebnissen gegenüber einnehmen möge, so muss man doch das methodische Streben gelten lassen, welches bei der Bezwingung eines gewaltigen Zahlenmateriales leitend war und u. a. zur Konstruktion einer eigenen Periodenrechenmaschine Anlass gab (vgl. S. 82). Auch Lamprecht wählt als Kriterium die Niederschlagsmessungen und findet mit ihrer Hilfe zwei sich gegenseitig überlagernde Perioden von bezüglich 411,7934 und 423,82 Tagen; „der Einfluss des Mondes ist so beschaffen, dass der meiste Niederschlag stattfindet, wenn die Erdnähe auf den Vollmond fällt, der geringste, wenn sich Erdnähe und Neumond gleichzeitig ereignen" [77]. Es liegt gewiss kein Grund vor, diesen aus einer rationellen Statistik gefolgerten Thatsachen zu misstrauen, aber die theoretische Erklärung, welche hauptsächlich auf eine gesteigerte Wirkung der Luftelektrizität und auf einen die Erde umgebenden Staubring — das Tierkreislicht — sich stützt, hängt mit der Periodenberechnung organisch nicht zusammen, und eine Förderung der Prognose, welche mit Recht als das erwünschteste bezeichnet wird, geht aus dem, was einstweilen vorliegt, noch nicht hervor. Eher möchte die Erklärung der Trockenheit des Jahresschlusses von 1897 als Probe gelten können.

§. 4. Die Einwirkung des Mondes auf einzelne Elemente. Die Zeit zu einer im grossen Stile aufzufassenden Mondmeteorologie ist, darüber kann dem Gesagten zufolge kein Zweifel obwalten, noch nicht gekommen, wenn sie überhaupt je eintreten wird. Nächste Aufgabe ist es, Bausteine herbeizuschaffen, aus denen dann vielleicht dereinst ein Gebäude aufgeführt werden kann; d. h. es kommt darauf an, die Abhängigkeit des Verlaufes einzelner meteorologischer Elemente vom Mondlaufe zahlenmässig festzustellen. Unter diesem Gesichtspunkte durften (s. o.) die Untersuchungen von Lamprecht anerkannt werden. Es wird sich bald ergeben, dass überhaupt an solchen Forschungen kein Mangel ist, und dass thatsächlich eine lunare Meteorologie als im Entstehen begriffen willkommen geheissen werden muss, indem nur freilich damit noch keine Veranlassung zu ausschweifenden Hoffnungen gegeben ist. Wir besprechen nachstehend im Zusammenhange die durch ein bestimmtes Element hervorgerufenen Forschungen.

a) **Lufttemperatur.** Besässe das Mondlicht Wärme in irgend nennenswertem Maſse, so wäre eine Beeinflussung der Lufttemperatur etwas selbstverständliches. In Wirklichkeit ist aber (I, S. 118) der Wärmeeffekt der Mondstrahlung gleich Null, und damit ist, wie Mitscherlich gegen Mädler hervorhob [78], ein direkter Einfluss als unmöglich dargethan. Wenn gleichwohl von Buys Ballot, Harrison und Loomis, wie Klein angibt [79], eine gewisse indirekte Einwirkung nicht für ausgeschlossen gehalten wurde, so ist dieselbe doch zu gering-

fügig, um irgendwie ins Gewicht fallen zu können. Zengers Behauptung [80], der variable, jedoch nur zwischen engen Grenzen oszillierende Winkel, den die Mondbahn mit der Ekliptik bildet, mache sich in der Weise bemerkbar, dass seinem grössten Werte eine besonders niedrige mittlere Jahrestemperatur entspreche, hat aus nahe liegenden Gründen keinen Anklang gefunden, und auch Parvilles Versuch, excessive Sommerwärme dem Monde zur Last zu legen, hat nach dem Urteile Kleins [81] keine innere Berechtigung.

b) **Bewölkung.** Natürlich ist es nicht wahr, dass es in heiteren Mondnächten deshalb kalt sei, weil der Mond hell scheine, sondern wenn es kalt ist, so trägt daran das Fehlen einer die Ausstrahlung zurückhaltenden Wolkendecke die Schuld, und aus gleichem Grunde ist der Mond gut sichtbar. Doch lässt sich andererseits nicht leugnen, dass eine gewisse Abhängigkeit des Bewölkungsgrades (S. 29) nachgewiesen wurde; zu den älteren bestätigenden Arbeiten von Garthe [82] und Buys Ballot [83] ist späterhin noch diejenige von Schiaparelli [84] hinzugetreten. Die Monatskurve der Heiterkeit weist zwei Maxima (1. Viertel und 26. Tag), sowie zwei Minima (20. Tag und Neumond) auf. Man könnte recht wohl daran denken, dass die Mondstrahlen an und für sich auch Wärme erregen können, indem sie zwar durch Absorption in der Atmosphäre diese ihre angestammte Wärme verlören, immerhin jedoch gegenüber den oberen Wolkenschichten sich auch kalorisch nicht neutral verhielten.

c) **Luftdruck.** Während der Neuspanier Carasquilla [85] die atmosphärischen Gezeiten deutlich nachweisen zu können glaubte, vermochte Börnstein [86] für Deutschland nur eine einmalige tägliche Luftdruckschwankung als Folge der Mondbewegung zu erkennen, und zwar findet im fünfjährigen Mittel das Minimum allenthalben seinen Platz in der Zeit des Mondaufganges, während das Maximum veränderlicher ist. Während es sich hier um die Tagesperiode handelte, nahmen G. Meyer und Seemann den monatlichen Umlauf unseres Begleiters um die Erde in Angriff [87] und fanden: Während der Monate September bis Januar soll der Vollmond mit sehr niedrigem, das erste Viertel mit sehr hohem Barometerstande korrespondieren. Im übrigen ist [88] der Luftdruck im Apogäum höher, als im Perigäum und in den Quadraturen unbedeutend höher, als in den Syzygien. Ausgedehntere Wellenbewegungen der Atmosphäre sind von Poincaré, und nachher auch von Garrigou und Lancaster, als Konsequenzen der Mond- und zugleich der scheinbaren Sonnenbewegung in Anspruch genommen worden [89]. Als wichtigstes Fazit glauben wir das folgende hinstellen zu sollen: „Die Atmosphäre zeigt zwischen dem Wintersolstitium und dem Frühjahrsäquinoktium auf der Nordhemisphäre Schwingungen, welche den tropischen Umläufen von Sonne und Mond entsprechen. Diese Schwingungen offenbaren sich in barometrischen Bewegungen, deren Sinn und Intensität hauptsächlich charakterisiert sind durch die Veränderungen des atmosphärischen Gefälles zwischen dem 30. und 70. Parallel." Hier wäre vielleicht auch schon der Ort, um auf Hanns allgemeine Theorie der Barometerschwankungen zu sprechen zu kommen, indes ziehen wir es vor, dieselbe erst im nächsten Kapitel, für welches sie von besonderer Bedeutung ist, vorzunehmen.

d) **Winde.** Beziehungen zwischen dem Mondlaufe auf der einen, der Windrichtung, Windgeschwindigkeit und Windstärke (vgl. S. 73) auf der anderen Seite sind von K. Lindemann [90], Leyst [91] und Rykatschew [92] ausgemittelt worden. Die Geschwindigkeit des Windes ist anscheinend bei der unteren Kulmination des Mondes etwas grösser, bei der oberen etwas kleiner, ohne dass doch von einer beträchtlichen Differenz die Rede sein könnte. Nach Herzberg und Lüdicke wäre die Wahrscheinlichkeit dafür, dass ein Sturm eintrete, in den Syzygien etwas grösser als in den Quadraturen [93]. In sehr beschränktem Mafse passt sich dieser Erfahrungssatz der die Winde als blosse Folgeerscheinungen der himmlischen Bewegungen auffassenden Sturmtheorie der alten Astrometeorologen an [94]: „Ventus est meteorum spirituosum ex effluvio flatuoso vi et virtute astrorum a terris et aquis educto ortum, quod ascendere laborans reprimitur et in obliquum retorquetur cumque impetu per aërem ruit."

e) **Regenverhältnisse.** Zur Genüge haben wir uns davon überzeugt, dass von alters her — Toaldo, Schübler, Falb, Lamprecht — die Niederschläge für den natürlichsten Mafsstab, der zur Ermittelung des Mondeinflusses

dienen könnte, gehalten wurden. Die einschlägigen Untersuchungen von Poitevin, Clos, Streintz, neben denen diejenigen von Wierzbicky [95] und van der Stok [96] noch besonders bemerkt sein wollen, liessen erkennen, dass die Regenkurve des synodischen Monates rasch gegen ein Hauptmaximum in der Nähe des Vollmondes ansteigt, um dann wieder schnell gegen ein Hauptminimum im vierten Oktanten zu fallen [97]. Die von Merriman und Hazen konstruierten Regenkurven bekunden ein wesentlich ähnliches Verhalten [98], das in trockenen Jahren am deutlichsten sich ausspricht.

f) **Luftelektrizität.** Die Beeinflussung des atmosphärisch-elektrischen Potentialgefälles durch den Mond ist von Ekholm und Arrhenius zum Gegenstande einer besonderen Untersuchung gemacht worden [99]. Wenn der Mond, ebenso wie die Erde, eine negative Ladung besitzt, so muss bei wachsender Zenitdistanz des ersteren jenes Gefälle eine Vermehrung erfahren, und dem passen sich auch die an sehr verschiedenen Erdstellen gemachten Beobachtungen an. Unabhängig hievon wurde durch W. Brauns [100] mit besonderer Sorgfalt angestellte Messungen konstatiert, dass das Gefälle zur Zeit der oberen Mondkulmination geringer als zur Zeit der unteren ist, während zugleich die Mittelwerte des Gefälles um Neu- und Vollmond sich zu einander wie 144 : 229 verhalten. Auch da ist mithin der Zusammenhang zwischen der Mondstellung und den Veränderungen im elektrischen Spannungszustande der Erde unverkennbar.

g) **Gewitter.** Was von der statischen Luftelektrizität gilt, wird wohl auch von der dynamischen angenommen werden dürfen. Dass der Mond die Gewitterhäufigkeit regulieren helfe, ist zuerst von Lampadius [101] behauptet, aber natürlich nicht befriedigend bewiesen worden. Aus den Angaben von Cotte, Eisenlohr und Schiaparelli lässt sich zwar nach van Bebber [102] eine gewisse Gesetzmässigkeit für einzelne Orte ermitteln, welche aber dann wieder für andere nicht Stich hält. Eine Vermehrung der Gewitterfrequenz nach der oberen und, minder ausgesprochen, auch nach der unteren Kulmination des Mondes hat A. Richter [103] wahrscheinlich gemacht, während freilich Köppen [104] einige Bedenken hiegegen ausdrücken zu müssen glaubte. Die 26tägige Gewitterperiode v. Bezolds, von welcher in §. 6 zu handeln sein wird, bildete den Ausgangspunkt für eine Studie E. Wagners [105], der zufolge für jede Lunation zwei sekundäre Maxima und ein Hauptmaximum, sowie auch entsprechende, nur schwächer ausgeprägte Minima sich nachweisen zu lassen scheinen. Speziell für Aachen spricht sich in den von Polis [106] bearbeiteten 55jährigen Beobachtungsregistern eine Zunahme der Gewitterfrequenz vom Neumond bis zum ersten Viertel und eine Abnahme vom Vollmond bis zum letzten Viertel aus.

Ein ziemlich stattliches empirisches Material ist es, welches in diesem Paragraphen zur Diskussion der Frage des Mondeinflusses zusammengebracht ward. Unser Schlusswort lautet: In den verschiedensten Witterungsfaktoren tritt ein gewisser Einfluss des Mondes hervor, und dass es echte Mondperioden gibt, ist nicht unmöglich, aber das Interesse, welches wir diesen Errungenschaften entgegenzubringen haben, ist wesentlich ein theoretisches, und der Prognose ist daraus bisher kein unmittelbarer Vorteil erwachsen. Auch die landläufige Meinung (s. o.) von der Bedeutung des Mondwechsels für die Witterung hat durchaus keine allgemeine Bestätigung gefunden, weder eine theoretische noch auch, was namentlich Dade [107] betont, eine solche durch strenge Statistik.

Einen hübschen Beitrag zur Erklärung eben dieses Volksglaubens hat Raschig [108] geliefert. Zieht man die Sichtbarkeit der Mondphasen und die denselben entsprechenden Lichtmengen in Rechnung, so ergibt ein Ueberschlag, dass 77% aller unwillkürlichen Mondbeobachtungen bei unbedecktem Himmel auf den Vollmond treffen. Demnach ist die Fabel nicht verwunderlich, dass der Vollmond eine zerstörende Kraft auf die Wolken (S. 167) auszuüben und so schlechtes Wetter in gutes zu verwandeln vermöge.

§. 5. **Sonnenfleckenfrequenz und Erdatmosphäre.** Dass alle Vorgänge innerhalb unserer Atmosphäre in letzter Linie in der Sonnenwärme ihren Urgrund haben, bedarf keines Beweises. Doch sind auch andere Wirkungen der Sonne nicht ausgeschlossen; so war im vorigen Kapitel genugsam vom elektrischen Sonnenpotentiale die Rede, aus dessen Oszillationen Hornstein [109] diejenigen des Barometerstandes ableiten wollte, und bei v. Buch [110] wie bei v. Lamont [111] begegnen wir Andeutungen über die meteorologische Bethätigung der Massenanziehung oder einer der Anziehung analogen Kraft des Sonnenkörpers. Vor allem aber ist es die wechselnde Bedeckung der Sonnenoberfläche mit Flecken, welche auch den Meteorologen interessiert. In jener Bedeckung tritt bekanntlich (I, S. 77) eine klar markierte Periode von etwas mehr denn elf Jahren zu Tage, und da liegt die Frage nahe, ob sich diese Periodizität nicht auch im Gange gewisser meteorologischer Prozesse auf der Erde abspiegle.

Kaum waren die Sonnenflecke von Galilei entdeckt, so dachte auch gleich Baliani daran [112], sich der neuen Entdeckung für die Witterungsvorhersage zu bedienen, und Riccioli, Kircher und Deschales erklärten es als ihre Ansicht [113], dass die Lufttemperatur durch einen grösseren oder geringeren Reichtum von Flecken eine Aenderung erleiden müsse. Nur war man sich nicht recht klar darüber, ob mit dem Anwachsen der Flecke eine Vermehrung oder Verminderung der Luftwärme Hand in Hand gehen müsse, denn offenbar hatte man die Auswahl zwischen zwei gleichberechtigt erscheinenden Auffassungen. Ein erhöhter Fleckenstand, so sagten die einen, schwächt notwendig die Wärmekraft der Sonne ab; ein erhöhter Fleckenstand, so argumentierten andere, deutet eine lebhaftere Aktion innerhalb der Licht und Wärme spendenden Sonnenhülle an, und dadurch wird der geringe Defekt, welcher aus der geringeren Wärmestrahlung der dunklen Stellen entspringt, mehr als gedeckt. Wir lassen das kausale Element, welches uns in Kap. VII ohnehin nochmals zu beschäftigen haben wird, einstweilen hier beiseite und konstatieren lediglich nach Saveliew [114] als das Resultat der einschlägigen Untersuchungen das folgende: Mit der Zunahme der Flecke erhält auch die Erde mehr Wärme von der Sonne zugesandt.

Einstweilen kommt es uns mehr auf die thatsächliche Feststellung eines Zusammenhanges zwischen Fleckenfrequenz und atmosphärischen Erscheinungen an. Da wir, wie schon bemerkt, das Kausalverhältnis noch durchaus nicht klar genug überschauen, so wird wieder als hodegetisch die statistische Methode anzuerkennen sein. Die Fleckenhäufigkeit sowohl wie auch der Gang eines besimmten meteorologischen Elementes werden beide durch Kurven ausgedrückt, und wenn man diese Kurven auf das gleiche Koordinatensystem bezieht, so muss sich herausstellen, ob Analogien zwischen beiden vorhanden sind oder nicht. Die Schriften von Hahn [115], Fritz [116], v. Czerny [117], van Bebber [118] geben nach dieser Seite hin jeden erwünschten Aufschluss. Auch wollen wir betonen, dass nicht bloss meteorologische Vorkommnisse im engsten Wortsinne Berücksichtigung finden sollen, sondern auch andere, sobald sie nur einen ausgesprochen meteorologischen Hintergrund haben. Zu weit gehen aber wollen wir nicht; so lehnen wir es entschieden ab, mit Jevons [119] auch in den Welthandelskrisen den Finger der Sonnenfleckenperiode nachweisen zu wollen. Aehnlich, wie beim Monde, durchmustern wir folgeweise die einzelnen Elemente.

a) **Meteorologisch-optische Phänomene.** Aus einer bis auf Tycho Brahe zurückreichenden Zusammenstellung des Vorkommens von Sonnenhöfen, Neben-

monden u. s. w. (Kap. III, S. 20) war Tromholt geneigt zu schliessen, dass solche Lichterscheinungen zur Zeit eines Sonnenfleckenmaximums am häufigsten zu sehen seien [120]. Es würde das zusammenhängen mit dem, was später über die Häufigkeit der Cirruswolken beigebracht werden wird.

b) **Lufttemperatur.** Es ist dies offenbar das wichtigste Moment, denn wenn sich in den übrigen meteorologischen Bestimmungsstücken periodische Schwankungen ergeben, so sind dieselben doch zunächst darauf zurückzuführen, dass die so ungemein einflussreiche Luftwärme selbst sich nach dem Fleckenstande des Zentralgestirnes richtet. Neben den uns bereits bekannten längeren Frequenzperioden werden aber gerade in diesem Falle auch die kürzeren Perioden sich bemerklich machen, auf deren Vorhandensein Unterweger [121] unsere Aufmerksamkeit gelenkt hat. Eine solche Periode, die nicht von der Umdrehung des Sonnenkörpers hervorgerufen, wohl aber von ihr beeinflusst wird, beträgt im Mittel 29,56 ($\pm$ 0,5) Tage; auch eine Periode von 69,4 Tagen ist relativ kräftig ausgesprochen, und daneben laufen noch verschiedene andere, minder deutliche Perioden her. Köppens Nachprüfung stellte, in Uebereinstimmung mit Unterweger, die Existenz kurzer Perioden fest, ohne bezüglich der Zeitdauer zu den gleichen Werten zu gelangen. „Eine annähernde Prognose der Fleckenmenge," so äussert sich Köppen [122], „lässt sich wenigstens auf einen Monat voraus recht wohl geben, und also lassen sich auch irdische Erscheinungen, falls sich solche als mit den Schwankungen der Fleckenmenge oder den ihnen zu Grunde liegenden unbekannten Ursachen zusammenhängend erweisen, mit einiger Wahrscheinlichkeit auf so lange Zeit voraussagen. Ob es aber solche irdische Erscheinungen gibt, das muss zur Zeit als noch unentschieden gelten." In der That haben die Bestrebungen, in den Veränderungen der Luftwärme den Rhythmus der Fleckenfrequenz aufzudecken, zu sehr bemerkenswerten, aber gar nicht leicht zu interpretierenden Erkenntnissen verholfen. Unter Berücksichtigung eines Materiales, das sich über einen sehr grossen Teil der Erde erstreckt, fand Köppen [123] den empirisch feststehenden Satz: In dem Intervalle 1816 bis 1859 schmiegt sich die Kurve der Lufttemperatur völlig jener der Fleckenhäufigkeit an, wogegen vorher und nachher beide Linien in ihrem Verlaufe nichts, oder doch nur wenig mit einander gemein haben. Die Sache sei zweifellos, meint Schuster [124], aber einstweilen noch ganz unklar; Wolf glaubt [125] allerdings einen gewissen Fingerzeig für die Erklärung durch den Hinweis geben zu können, dass eben um 1859 die Fleckenkurve — und mit ihr die zugehörige Variationskurve der magnetischen Deklination (I, S. 543) eine ganz auffällige Gestaltsveränderung erfahren habe. Aus den für Indien angesammelten Zahlen hat Blanford [126] auch für die neuere Zeit eine gute Uebereinstimmung beider Kurven erschlossen, so dass er geneigt ist, die seit 1860 eingetretene Diskrepanz nur für eine scheinbare zu erklären und auf den Mangel exakter Beobachtungen zurückzuführen. — Angesichts dieser neuen umfassenden Arbeiten können die älteren, die sich meist nur auf ein räumlich und zeitlich beschränkteres Material stützen, auch nur eine beschränktere Beachtung beanspruchen, indessen verdienen sie gewiss genannt zu werden. Gautier glaubte [127] fleckenreiche Jahre für kälter als fleckenarme erachten zu sollen, und auch die Zusammenstellung von Fritsch [128] führte zu gleichem Ergebnis, während Wolf [129], ähnlich wie Köppen, alternierende Resultate erhielt. Auch die Untersuchungen von Piazzi Smyth, Stone, Celoria, Weilenmann, Baxendell vermochten keine wirkliche Einsicht in den inneren Zusammenhang zu vermitteln [130]. Dagegen fand Mac Dowall [131] neuestens eine sehr bemerkenswerte und auch wohl zu verstehende Beziehung auf, deren Wesen sich etwa mit nachstehenden Worten umschreiben liesse: In den Sommern besonders fleckenreicher Jahre herrscht eine entschiedene Neigung zur Herausbildung schrofferer Temperaturgegensätze vor; in Jahren des Fleckenmangels tritt diese Tendenz zurück. Zunächst ist die direkte Sonnenhitze bei namhafter Fleckenfrequenz eine intensivere; damit ist aber zugleich ein Anstoss zu lebhafterer Verdampfung und Wolkenbildung gegeben. — Die bisher diskutierten Untersuchungsmethoden waren direkte; sie operierten mit wirklichen Thermometerbeobachtungen. Man hat aber auch auf indirektem Wege Klärung zu bringen gesucht, indem man Vergleiche zwischen der Fleckenfrequenz und solchen Ereignissen anstellte, in denen sich die Wärmeverhältnisse der Erde abspiegeln. Wir meinen Ernteerträgnisse und Weinlesen. Den Anfang machte W. Herschel [132], und weil er ermittelt haben

wollte, dass die Getreidepreise sich in umgekehrtem Sinne, wie die Fleckenverhältnisse, bewegten, so dass also bei zahlreichen Flecken auch eine gute Getreideernte gesichert sei, so erklärte er Fleckenlosigkeit für einen ungesunden Zustand der Sonne, worin ihm Gruithuisen [133] beipflichtete. Allein im XIX. Jahrhundert stellt sich das Verhältnis ganz anders, und ebensowenig liessen sich die für den Beginn der Weinlese an verschiedenen Orten von Tomaschek und Fritz gefundenen Zahlen derart vereinigen, dass eine bestimmte Gesetzmässigkeit hervorgeleuchtet hätte [134]. Günstiger stellt sich die Frage nach dem Zusammenhange guter Weinjahre mit der solaren Aktion. Aus seinen eigenen Untersuchungen, wie auch aus denen von Hahn und Schuster (s. o.) zieht Fritz [135] das Schlussfazit, dass die Weinerträge an ziemlich regelmässige, durchschnittlich elf Jahre umfassende Perioden gebunden sind, welche denen der Sonnenthätigkeit nahezu parallel gehen. Ein Blick auf die Zeichnung, welche das Fritzsche Schema erläutert, dürfte beweisen, dass jene Behauptung keine zu weitgehende ist. — Hiemit wäre die Hauptfrage innerhalb der uns gesteckten Grenzen ausreichend erledigt; es liegt jedoch nahe, gleich hier einiger anderer terrestrischer Geschehnisse zu gedenken, die von den Veränderungen der Lufttemperatur sicherlich sehr nachhaltig beeinflusst werden.

c) **Eisverhältnisse.** Nervanders Versuch [136], in den zwischen Gefrieren und Freiwerden russischer Ströme liegenden Zeiträumen eine regelmässige Schwankung der Luftwärme nachzuweisen, ist von Buys-Ballot als wenig gelungen zurückgewiesen worden [137]. In späterer Erneuerung scheint er besser geglückt zu sein; wenigstens wird uns aus Finnland berichtet [138]: „Auf Anregung und unter Anleitung des Herrn Levänen untersuchten drei Studierende, Idman, Meniander und Oehberg, die Aufgangszeiten von zwei finnländischen Flüssen und die 40jährigen Wasserstandsbeobachtungen zu Kronstadt auf einen etwaigen Zusammenhang mit den Sonnenfleckenrelativzahlen von Wolf. Es stellte sich in der That ein ziemlich paralleler Gang heraus, namentlich bei den Wasserständen zu Kronstadt.“ Wenn dem so ist, so wird man entsprechendes auch für das Meer zu erwarten berechtigt sein. Die Treibeismassen erreichen nach Fritz [139] in Epochen bedeutender Fleckenfrequenz niedrigere Breiten, als ihnen das sonst möglich ist, und damit würde die Wahrnehmung, welche v. Schleinitz [140] machte, sich gut vereinigen lassen, dass nämlich das Eistreiben in der Polarregion dann ein besonders lebhaftes ist, wenn die Zeit eines Fleckenmaximums herannaht. Betreffs der hier auch einzubeziehenden Gletscherschwankungen scheint sich nur so viel sagen zu lassen [141], dass der Vorstoss der alpinen Eismassen dem Zeitpunkte des Fleckenmaximums näher als dem des Minimums liegt; näher kann hierauf erst Kap. III in Abteil. VIII eingehen. Uebrigens hat man es hier nicht bloss mit der Temperatur der Luft, sondern auch mit deren Feuchtigkeit zu thun, von welcher gleichfalls die Wachstumstendenz fluviatilen, marinen und festländischen Eises bedingt ist.

d) **Pfeilerschwankungen.** Die an sich überraschende, schon früher (I, S. 272) gestreifte Thatsache, dass die direkt aus dem Erdboden aufgemauerten Pfeiler, welche das Hauptinstrument einer Sternwarte tragen, in einer regelmässigen, elf Jahre umfassenden Schwankung sich befinden, ist durch Autoritäten, wie W. Förster und Gould, vollkommen beglaubigt worden [142]. Für ein tieferes Studium dieses keineswegs an sich klaren Umstandes dürften die Arbeiten von Liznar [143] und Hahn [144] über den Konnex zwischen der Fleckenperiode und den täglichen Temperaturschwankungen in Betracht kommen.

e) **Bewölkung.** Gegen Schwabes Ansicht, dass die Trübung des Himmels bei hochgesteigerter Sonnenthätigkeit eine stärkere sei, hat sich Klein erklärt, indem er eher Fleckenminima und überzogenen Himmel zeitlich zusammenbringt [145]. Von einem Zusammenhange des als Polarbanden (I, S. 602) bekannten Cirrusstreifen mit den Polarlichtern finden wir [146] Andeutungen bei Frobesius, Hell, v. Wrangel und Stevenson, aber erst Klein nahm die damit signalisierte Frage ernstlich auf, indem er bewies [147], „dass die Cirruswolken bezüglich ihrer Häufigkeit in verschiedenen Jahren eine Periodizität zeigen, derart, dass sie zahlreicher in den Jahren der Sonnenfleckenmaxima, als in den Jahren der Sonnenfleckenminima auftreten.“ Wir wollen gleich bei diesem Anlasse auf die spätere Würdigung dieser Wolkengebilde für die Wetterprognose in Kap. XI verweisen.

f) **Niederschlagsverhältnisse im allgemeinen.** Die frühere Untersuchung, welche Fritz diesem meteorologischen Elemente im bewussten Zusammenhange widmete, fiel negativ aus [148]; später schien dagegen [149] ein stärkerer Regenfall zur Zeit der Maxima zugegeben werden zu müssen. Wenigstens für die Tropenzone ist dies durch die Veröffentlichungen Meldrums [150] wahrscheinlich geworden. Freilich stimmen die von Celoria [151] und A. Broun [152] erzielten Resultate nicht in wünschenswerter Weise mit denjenigen Meldrums überein. Hunter glaubte zeigen zu können [153], dass die in Indien leider recht oft wiederkehrenden Missernten und Hungersnöte gleichfalls durch den Gang der Fleckenhäufigkeit bedingt seien, was jedoch nach Moigno [154], Blanford [155] und Strachey [156] durchaus nicht mit Sicherheit aus den vorhandenen Daten gefolgert werden kann. Auch für die Luftfeuchtigkeit gibt es, so viel man bis jetzt weiss [157], keinerlei Gesetzmässigkeit.

g) **Wasserstände und Ueberschwemmungen.** Von den Schwankungen abflussloser Seen sprechen wir hier vorerst nicht, weil diesem für die Frage der Klimaveränderungen hochwichtigen Gegenstande in Kap. IX eine besondere Betrachtung zu teil werden muss. Betreffs der Flüsse fand Fritz [158] im allgemeinen, dass zur Zeit der Fleckenmaxima etwas mehr, zur Zeit der Fleckenminima etwas weniger Wasser von den Strömen Europas geliefert werde. Für das Rheingebiet hat Reis [159] eine ungemein fleissige Untersuchung durchgeführt, welche nachstehendes bewiesen haben soll: „Die höchsten und häufigsten Ueberschwemmungen des Rheingebietes finden um dieselben Zeiten statt, wie die Hauptmaxima erster Klasse der Sonnenflecke, der Nordlichter und der Erscheinungen des Erdmagnetismus, kehren also in Perioden von 110 bis 112 Jahren wieder.“ Dass jedoch dieser Schluss nicht ohne — unbewusst — gewaltsame Behandlung der Zahlen erhalten werden konnte, hebt Fritz hervor [160]. Für den Mississippi vermochte v. d. Gröben [161] keine Abhängigkeit der Hochwasserstände von der Fleckenperiode herauszufinden, und so wird man wohl gut thun, sich mit der unvollkommenen Erkenntnis zu bescheiden, dass, wenn auch eine Beziehung existierte, sie doch durch andere konkurrierende Einflüsse verwischt und unkennbar gemacht wird.

h) **Hagelfälle.** Eine gewisse Periodizität der Hagelschläge findet sich erstmalig bei Kämtz [162] angedeutet. Die Verarbeitung eines ausgiebigen Zahlenstoffes berechtigte Fritz zu dem wichtigen Satze [163], dass der Hagel periodisch auftritt und mit den Maxima und Minima der Sonnenaktion auch die Wendepunkte in der Intensität seines Auftretens erreicht. Länger dauernde Perioden scheinen sich mit jener kürzeren zu kombinieren (siehe Kap. VI, §. 16).

i) **Luftdruck, Winde und Stürme.** Obwohl schon frühe Kreil und Lamont zur Erklärung der mancherlei periodischen und aperiodischen Luftdruckschwankungen an eine nicht näher bekannte solare Kraft gedacht hatten [164], so liess sich doch dafür lange kein greifbarer Anhaltspunkt ermitteln. Dagegen glaubte Hornstein [165] eine siebzigjährige Luftdruckperiode eruiert zu haben, und eine zehn- bis elfjährige erklärte Hill [166] für Indien, Blanford [167] für ganz Südasien als gesichert; Hann [168] fand Blanfords Konstatierung einer pendelnden Luftdruckverlegung zwischen Nord- und Südasien auch dann höchst merkwürdig, wenn sich der Einfluss der Fleckenperiode als ein minder wirksamer erweisen sollte. Broun [169] und Archibald [170] stellten sich ebenfalls ganz auf den Standpunkt des Altmeisters der indischen Meteorologen. Als wenig gesichert ist dagegen, wie auch Whipple meint, Chambers' Behauptung anzusehen, dass barometrische Wellen in einer durch die wechselnde Fleckenbedeckung der Sonnenoberfläche bestimmten Periode den Erdball umwanderten [171]. Auch die Untersuchungen von v. Freeden und Poëy können noch nicht als von Erfolg gekrönt gelten [172]. Etwas mehr versprechen nach Fritz [173] die Studien von Baxendell und Main über periodische Aenderungen der Windrichtung, aber als die beste Errungenschaft auf diesem Gebiete erscheint doch Meldrums Nachweis [174], dass im Wehen der tropischen Wirbelstürme ein deutlicher Parallelismus mit der Wolfschen Periode sich ausspreche. Auch die Berichte der Seeversicherungsgesellschaften lassen sich damit teilweise wohl vereinigen [175], soweit namentlich die Meere niederer Breiten in Betracht kommen. Hier ist auch der Ort, der Sturmtheorie Zengers zu gedenken, welche allerdings bisher kaum einige wenige Anhänger sich zu erwerben vermocht hat. In zahlreichen Arbeiten [176], und unterstützt von vielen photographischen

Aufnahmen, hat der böhmische Astronom den Nachweis versucht, dass heftige Zyklonalbewegungen innerhalb der Sonnenatmosphäre mit solchen der irdischen Lufthülle zeitlich Hand in Hand gehen, sowie dass die ersteren massgebend für letztere sind.

k) **Elektrische Lufterscheinungen; Gewitter.** Eine klar ausgesprochene Gewitterperiode ist noch nicht ermittelt, oder wenn sie existiert, so ist es doch nicht die elfjährige. Gleichwohl darf nicht ausser acht gelassen werden, dass die Gewitterkurve, wie sie v. Bezold konstruierte, zwischen der Kurve der Fleckenfrequenz und derjenigen der Temperatur mitten inne liegt [177]; es ist demnach ein Zusammenhang zwischen Fleckendichte und Gewitterhäufigkeit vorhanden, der aber nicht unmittelbar durch eine elektrische Wechselwirkung zwischen Sonne und Erde erklärt werden kann. Klein [178], Hahn [179] und Fritz [180] halten eine Bedingtheit der elektrischen Erscheinungen von der Sonne nicht für gegeben, während v. Bezold (s. o.) zumal in der Wiederkehr zündender Blitze (S. 147) eine Periodizität in dem Sinne als bestehend annimmt, dass sich jede Sonnenfleckenperiode in zwei ständige Perioden von kürzerer Dauer zerlegen lässt.

l) **Ozon.** Die Ansicht, im Ozongehalte der Luft komme die elfjährige Periode derart zur Geltung, dass derselbe ab- und zunehme, wenn bezüglich die solare Fleckenmenge einem Maximum oder Minimum zustrebe, wurde von Fritz [181] widerlegt. Einzelne Beobachtungsplätze fügen sich zwar der Regel ganz gut ein, andere aber wieder um so weniger.

m) **Heuschreckenschwärme.** In der Phänologie (vgl. Kap. VII) der Heuschrecken- und gewisser Schmetterlingszüge wollte Hahn [182] insofern eine gewisse Gesetzmässigkeit erkennen, dass jene Theorie um die Zeit eines Fleckenminimums herum am häufigsten auftrete. Auch der Zoogeograph F. Köppen und der Meteorologe W. Köppen billigten Nachforschungen dieses Charakters. Erschwert wird die Erkennung des allfallsigen Naturgesetzes durch das Eingreifen des Menschen; aus Brocards schöner Monographie [183] über die algerische Heuschreckenplage ersehen wir z. B., dass die Invasionen der gefürchteten Tiere in dem Maſse an Schrecken verloren, als die Kolonialregierung für umfängliche Anpflanzung wüster Gelände Sorge trug.

Unsere Uebersicht musste eine gedrängte sein, aber es ist doch kaum irgend ein Objekt, das mit nur einigem Rechte beigezogen werden konnte, unberücksichtigt geblieben. Dass die Strömungen in der Photosphäre der Sonne, insofern sie selbst festen Gesetzen unterliegen, auch auf die Lufthülle in gleichem Sinne einwirken, steht fest, und bei einzelnen Erscheinungen — Hagelfall, Drehstürme der Tropenzone — darf dieser Zusammenhang den endgültig geborgenen Wahrheiten der atmosphärischen Physik zugezählt werden. Doch hat man sich vor optimistischen Erwartungen, wie dies insbesondere Deichmüller beim Vergleiche mit astronomischen Thatsachen ausspricht [184], wohl zu hüten. Auf Erks Untersuchungen kommen wir in Kap. IX zu sprechen.

[1] Goad, Astrometeorologia or Aphorisms and Discourses of the Celestial Bodies, their Natures and Influences, London 1686; Astrometeorologia sana, London 1690. — [2] Siegesbeck, Astrologiae meteoricae specimen, B. Sl., XXXV, S. 30 ff. — [3] Faye, Sur la météorologie cosmique, A. S. M. J., I, S. 266 ff. — [4] Günther, Der Einfluss der Himmelskörper auf Witterungsverhältnisse, eine meteorologische Studie, Nürnberg 1884. — [5] van Bebber, Handbuch der ausübenden Witterungskunde, I, Stuttgart 1885, S. 34 ff. — [6] Ideler, Historische Untersuchungen über die astronomischen Beobachtungen der Alten, Berlin 1806, S. 209 ff. — [7] Prince, A liberal Translation of the Astronomy and Meteorology of Aratus with some Bibliographical Remarks, London 1895. — [8] Billwiller, Ueber die Astrologie, Basel 1878, S. 13. — [9] Mag. Joannes Glogoviensis, Tractatus praeclarissimus in judiciis astronomorum de mutationibus aëris ceterisque accidentibus singulis annis evenientibus, juxta priscorum sapientium sententiam, Krakau 1514. — [10] Brocard, La météorologie de Kepler, Grenoble, I, 1879; II, 1880. — [11] Wegleiter-Sturm, Siderum influentia, hoc est efficacia in mundum hunc sublunarem, Altdorf 1679; Nikius, Demonstratio, astrologiam meteorologicam systemati mundi physico-geometrico esse contrariam, Wittenberg 1722. — [12] O. Eisenlohr, Untersuchungen über die Zuverlässigkeit und den Wert der gebräuchlichsten Wetterregeln, namentlich der sogenannten Bauernregeln und Lostage, Karlsruhe 1847. — [13] Stöwe, Anzeige einer allgemein interessanten physikalischen Entdeckung, Berlin 1791; Erklärung der Konstel-

lationen oder Stellungen der Himmelskörper, welche Erdbeben, Orkane, Donnerwetter und alle Witterungserscheinungen verursachen, Berlin 1791. — [14] F. A. Schneider, Beiträge zur Astrometeorologie, Berlin 1840—51; Schneider-Sommer, Astrometeorologie, Berlin 1866. — [15] Günther, S. 36, 64. — [16] Lamey, Sur la théorie de la périodicité undécennale des taches du soleil, C. R., LXXXII, S. 62 ff. — [17] A. v. Humboldt, Kosmos, I, S. 82. — [18] Grablowitz, Andamento annuo della temperatura a Trieste e sua escursione diurna, A. S. M. J., I, S. 356. — [19] A. Erman, Ueber einige Thatsachen, welche wahrscheinlich machen, dass die Asteroiden der Augustperiode sich im Februar und die der Novemberperiode im Mai eines jeden Jahres zwischen der Sonne und der Erde, auf dem Radiusvektor der letzteren, befinden, A. P. C., XLVIII, S. 582 ff. — [20] van Bebber, I, S. 195 ff. — [21] Nürnberger, Astronomisches Handwörterbuch, II, Kempten 1888, S. 539 ff. — [22] V. A. G., XI, S. 227; V. N. G. Z., 1877, S. 208. — [23] v. Segner, De mutationibus aëris a luna pendentibus, Jena 1733; Günther, Note sur Jean-André de Segner, le premier fondateur de la météor. mathématique, B. B., IX, S. 217 ff. — [24] Kratzenstein, Abhandlung von dem Einfluss des Mondes in die Witterungen und in den menschlichen Körper, Halle a. d. S., 1747. — [25] D'Alembert, Réflexions sur la cause générale des vents, Paris 1744. — [26] R. Wolf, Biographien zur Kulturgeschichte der Schweiz, III, Zürich 1862, S. 185. — [27] Sigorgne, Praelectiones astronomiae Newtonianae, I, Tübingen 1769, S. 384. — [28] Lambert, De variationibus altitudinum barometricarum, A. H., IV, S. 315 ff. — [29] Frisi, De variationibus altitudinis barometricae, quae solis aut lunae vi gigni possunt, Mailand 1785. — [30] Kies, De influxu lunae in partes terrae mobiles, Tübingen 1769. — [31] Toaldo, Le saros météorologique, ou essai d'un nouveau cycle pour le retour des saisons, O. P., XXI, S. 176 ff.; Saggio meteorologico della vera influenza degli astri sulle stagioni e mutazioni del tempo, Padua 1770; Novae tabulae barometri aestusque maris, ebenda 1771; La meteorologia applicata all' agricoltura, ebenda 1775; deutsch von Steudel, Berlin 1876. — [32] Chiminello, Risposta al Signor Frisi intorno all' effetto della luna sul barometro da esso contradetto, Vicenza 1783. — [33] Hanow, Gedanken von dem Kreislaufe der Witterungen in dem grossen Mondjahre, W. W., 1769, S. 66. — [34] Hoeslin, Meteorologische oder Witterungsbeobachtungen auf 19 Jahre, Tübingen 1784. — [35] Gatterer, De anno meteorologico fundamentali, M. f. N. P., I, 2, S. 1 ff. — [36] Kant, Etwas über den Einfluss des Mondes auf die Witterung, Königsberg i. Pr. 1794; Schriften z. phys. Geogr., ed. Schubert, Leipzig 1839, S. 402 ff. — [37] Gamauf, Erinnerungen aus Lichtenbergs Vorlesungen über die physikalische Geographie, Wien-Triest 1818, S. 358. — [38] Gronau, Hat der Mond wirklich den Einfluss auf die Witterung, den man ihm von jeher zuschrieb? M. G. N. F. B., II, S. 101 ff.; G. P. W., VI, 3, S. 2059 ff. — [39] Olbers, Ueber den Einfluss des Mondes auf die Witterung, Z. A. v. W., V, S. 34 ff. — [40] H. W. Brandes, Beiträge zur Witterungskunde, Leipzig 1820, S. 274. — [41] Mauritii, Ueber den Einfluss des Mondes auf die Witterung, namentlich auf Barometer und Thermometer, Wunsiedel 1841. — [42] Schübler, Untersuchungen über den Einfluss des Mondes auf die Veränderungen unserer Atmosphäre, mit Nachweisung des Gesetzes, nach welchem dieser Einfluss erfolgt, Leipzig 1830. — [43] F. Baumann, Untersuchungen über monatliche Perioden in den Veränderungen unserer Atmosphäre, Tübingen 1832. — [44] C. H. Pfaff, Ueber die strengen Winter vorzüglich des XVIII. Jahrhunderts und über die letztverflossenen der Jahre 1808 und 1809, Kiel 1809—10. — [45] P. Schreiber, Vier Abhandlungen über Periodizität des Niederschlages, theoretische Meteorologie und Gewitterregen, Leipzig 1896, S. 68 ff. — [46] O. Eisenlohr, Untersuchungen über die Witterungsverhältnisse von Karlsruhe, über die Schwankungen des Barometers und Thermometers zu den verschiedenen Jahreszeiten und über den Einfluss der Winde und des Mondes auf die Witterung, Karlsruhe 1832; Ueber den Einfluss des Mondes auf die Witterung, A. P. C., XXX, S. 72 ff.; Ueber den Einfluss des Mondes auf den Barometerstand und die Regenmenge nach 27jährigen Beobachtungen zu Strassburg, A. P. C., XXXV, S. 141 ff.; Untersuchungen über das Klima von Paris und die vom Monde bewirkte atmosphärische Ebbe und Flut, A. P. C., LX, S. 161 ff. — [47] Herrenschneider, Résumé des observations météorologiques faites à Strasbourg pendant l'an 1811 jusqu'en 1832, Strassburg i. E. 1832. — [48] Flaugergues, Sur l'action de la lune pour diminuer la pression de l'atmosphère, B. U., XXXVI, S. 264 ff.; XL, S. 265 ff. — [49] Bouvard, Mémoire sur les observations météorologiques faites à l'Observatoire royal de Paris, M. P., 1827, S. 167 ff.; A. P. C., XIII, S. 137 ff. — [50] Oeuvres de Laplace, Paris 1843, I, S. 111 ff.; II, S. 330 ff. — [51] Knorr, Disquisitiones quaedam de aestu maris, Berlin 1830; Ueber die tägliche Variation des Barometers und die atmosphärische Lunarflut, Z. M. P., VII, S. 180 ff. — [52] v. Hoff, Briefliche Mitteilungen meteorologischen Inhaltes, K. A., II, S. 89. — [53] Ballo, Einfluss der atmosphärischen Ebbe und Flut auf den Barometerstand und die atmosphärische Refraktion, Königsberg i. Pr. 1859. — [54] Prestel, Erfahrungen über den Einfluss des Mondes auf das Wetter, G., XI, S. 468 ff. — [55] Lüdecke, Der Mondlauf in seiner Wirkung auf eine atmosphärische Ebbe und Flut, Z. ö. G. M., X, S. 142 ff. — [56] Kreil, Versuch, den Einfluss des Mondes auf den atmosphärischen Zustand unserer Erde aus einjährigen Beobachtungen zu erkennen, Prag 1841. — [57] Sabine, On the Lunar Atmospheric Tide at St. Helena, P. T., 1847, S. 45 ff. — [58] Elliot, On the Lunar Atmospheric Tide at Singapore, P. T., 1852, S. 125 ff. — [59] Neumayer, On the Lunar Atmospheric Tide at Melbourne 1867, P. R. S., XV, S. 489 ff. — [60] Bergsma, Lunar Atmospheric Tide, Observations made at the Magnetical and Meteorological Observatory at Batavia, 1871—82. — [61] Streintz, Uebt der Mond einen nachweisbaren Einfluss auf meteorologische Erscheinungen? A. P. C., 5. E. B., S. 603 ff. — [62] Günther, Der Einfluss etc., S. 25 ff. — [63] Mathieu de la Drôme, Le triple Almanach, indicateur du temps pour . . . (fortlaufende Jahreszahl); W. A. M. G., 1863, S. 166 ff. — [64] van Bebber, S. 63. — [65] Hellmann, Repertorium der deutschen Meteorologie, Leipzig 1883, Sp. 244. — [66] J. Berthold, Der hundertjährige Kalender, W. B. L. Z., 1890, Nr. 43. — [67] Overzier, Wetterprognosen auf längere Zeit, Köln 1883; Antwort an die deutsche Seewarte, ebenda. — [68] Arago, Sur l'influence de la lune sur les phénomènes terrestres, Notes scientifiques, V, S. 25 ff. — [69] Falb, Wetterbriefe, Wien 1883; Das Wetter und der Mond, Wien 1892; Kalender der kritischen Tage mit Bezug auf Witterungserscheinungen, Erdbeben und Schlagwetter, Wien (fortlaufende Jahreszahl). — [70] Pernter, Falbs kritische Tage, Berlin 1892; G., XXVIII, S. 373 ff. — [71] Ebenda, S. 378. — [72] Friesenhof, Die Gezeitenlehre in der Wetterprognose, M. Z., I, S. 367 ff. — [73] Röttger, Das Wetter und die Erde, Jena 1885. — [74] G. Jäger, Wetteransagen und Mondwechsel, Stuttgart 1893; Wetter und Mond, Nachtrag, ebenda 1894. — [75] Neue Bemühungen auf dem Gebiete der Witterungskunde, M. Z., X, S. 465 ff. — [76] G. Lamprecht, Wetterperioden, Bautzen 1897. — [77] Ebenda, S. 13. — [78] Mädler, Ueber den Einfluss des Mondes auf die Witterung, namentlich auf Barometer und Thermometer; Mitscherlich, Bemerkungen dazu, O. J., 1837, S. 400 ff. — [79] H. J. Klein, Handbuch der allgemeinen Himmelsbeschreibung, I, Braunschweig 1871, S. 133 ff. — [80] Zenger, On the Periodic Change of Climate caused by the Moon, P. M., (4) V, S. 433 ff. — [81] H. J. Klein, Die diesjährige Sommerhitze und der Mond, G., XVII, S. 668 ff. — [82] Günther, S. 24; van Bebber, I, S. 162. — [83] Buys Ballot, De invloed der maan op de helderheit des hemels, A. K. L., 1853,

Nr. 30. — [84] Schiaparelli, Sul clima de Vigevano, risultati di osservazioni fatte in questa città per 38 anni (1827—1864) dal Cav. Dott. Serafini, Mailand 1868; Dell' influenza della luna sulla vicende atmosferiche, ebenda 1866. — [85] Carasquilla, Memoria sobra las mareas atmosféricas, Sta. Fè di Bogotà 1890. — [86] Börnstein, Eine Beziehung zwischen dem Luftdrucke und dem Stundenwinkel des Mondes, M. Z., VIII, S. 161 ff. — [87] G. Meyer, Studien über den Einfluss des Mondes auf die Witterung, M. Z., VII, S. 427 ff.; Ueber eine neue anscheinende Periodizität in der Barometerbewegung, M. Z., VII, S. 436 ff. — [88] van Bebber, I, S. 189. — [89] Einfluss des Mondes und der Sonne auf Luftdruckverlagerung, M. Z., XIII, S. 268 ff.; C. R., CXXI, S. 468, 682, 844, 1175. — [90] K. Lindemann, Einfluss des Mondes auf die Windrichtung, Annaberg i. S. 1870. — [91] Leyst, Ueber den Einfluss des Mondes auf die Geschwindigkeit der Luftströmungen, R. E., XXI, S. 481 ff. — [92] Rykatschew, Le flux et reflux de l'atmosphère d'après les observations anémométriques faites à l'observatoire physique central de St. Pétersbourg, R. M., 1883, Nr. 8. — [93] van Bebber, I, S. 173 ff. — [94] Nottnagel, Disputatio physico-mathematica de ventis insolentibus, Wittenberg 1661, S. 5. — [95] Wierzbicky, Untersuchungen über die klimatographischen Verhältnisse zu Krakau nach 45jährigen Beobachtungen, J. Z. M. E., (2) VII. — [96] van der Stok, Regenwaarnemingen in Nederlandsch-Indië, IV, Batavia 1883, S. 338 ff. — [97] van Bebber, I, S. 155. — [98] Einfluss des Mondes auf den Regen, M. Z., X, S. 339 ff. — [99] Ekholm-Arrhenius, Ueber den Einfluss des Mondes auf den elektrischen Zustand der Erde, S. V. A. H., XIX, 1, Nr. 8. — [100] W. Braun, Messungen des Potentialgefälles der Luftelektrizität in Bamberg, Bamberg 1896. — [101] Lampadius, Beobachtungen über das Wetterleuchten und von dem Einflusse des Mondes auf die Gewitter, G. A. P., LXXIV, S. 432 ff. — [102] van Bebber, I, S. 165 ff. — [103] A. Richter, Gewitterhäufigkeit nach Mondstunden, M. Z., II, S. 33 ff.; Einfluss des Mondes auf die Gewitter, M. Z., II, S. 307 ff. — [104] W. Köppen, Einfluss des Mondes auf die Gewitter, M. Z., II, S. 34 ff. — [105] E. Wagner, Einfluss des Mondes auf die Gewitter, M. Z., VI, S. 299 ff. — [106] Polis, Der Einfluss des Mondes auf die Gewitter in Aachen, M. Z., XI, S. 230 ff. — [107] Dade, Ueber den Einfluss des Mondes auf die Witterung, Z. ö. G. M., X, S. 143 ff. — [108] Raschig, Ueber die relative Häufigkeit unwillkürlicher Beobachtungen der Vollmondphase, M. W. V. S. U., II, S. 68 ff. — [109] Hornstein, Ueber den Einfluss der Elektrizität der Sonne auf den Barometerstand, Wien 1872. — [110] v. Buch, Bemerkungen über den Gang des Barometers, G. A. P., V, S. 11. — [111] v. Lamont, Ueber den Einfluss der Rotation der Sonne auf die atmosphärische Temperatur, A. P. C., LXXXVII, S. 129 ff. — [112] R. Wolf, Handbuch der Astronomie, II, Zürich 1893, S. 415. — [113] van Bebber, I, S. 204. — [114] Saveliew, Sur l'influence qu'exercent les taches solaires sur la quantité de chaleur reçue par la terre, C. R., CXVIII, S. 62 ff. — [115] Hahn, Ueber die Beziehungen der Sonnenfleckenperiode zu den meteorologischen Erscheinungen, Leipzig 1877. — [116] H. Fritz, Die Beziehungen der Sonnenflecken zu den magnetischen und meteorologischen Erscheinungen der Erde, Haarlem 1878; Die wichtigsten periodischen Erscheinungen der Meteorologie und Kosmologie, Leipzig 1893. — [117] v. Czerny, Die Veränderlichkeit des Klimas und ihre Ursachen, Wien 1881. — [118] van Bebber, I, S. 199 ff. — [119] v. Czerny, S. 26; Jevons, Investigations in Currency and Finances, London 1884. — [120] Fritz, Die Beziehungen etc., S. 218 ff.; van Bebber, I, S. 253. — [121] Unterweger, Ueber die kleinen Perioden der Sonnenflecken und ihre Beziehung zu einigen periodischen Erscheinungen der Erde, Wien 1891. — [122] W. Köppen, Besprechung hiezu, M. Z., VIII, L. B., S. [51]. — [123] W. Köppen, Ueber vieljährige Perioden der Witterung, D. R. G. St., II, S. 97 ff. — [124] Schuster, On the Connection between Sunspots and Terrestrial Phenomena, London 1885. — [125] R. Wolf, Astronomische Mitteilungen, XXXIV, S. 140 ff. — [126] Blanford, The Paradox in the Sunspot-Cycle in Meteorology, N., XLIII, S. 583 ff. — [127] A. Gautier, Recherches relatives à l'influence que le nombre et la permanence des taches observées sur le disque du soleil peuvent exercer sur les températures terrestres, A. C. P., (3) XII, S. 57 ff.; A. P. C., LXVIII, S. 91 ff. — [128] K. Fritsch, Ueber das Steigen und Fallen der Lufttemperatur binnen einer analogen elfjährigen Periode, in welcher die Sonnenflecke sich vermindern oder vermehren, Wien 1854. — [129] R. Wolf, Handb. d. Astron., II, S. 418 ff. — [130] Hahn, S. 87 ff.; van Bebber, I, S. 208 ff. — [131] Mac Dowall, Sonnenflecken und Sommertemperaturen, M. Z., XIII, S. 431 ff.; N., LIV, S. 572. — [132] W. Herschel, Observations tending to investigate the Nature of the Sun, in Order to find the Causes of Symptomes of its variable Emission of Light and Heat, P. T., 1801, I, S. 313 ff. — [133] Gruithuisen, Einfluss der Sonnenflecken auf die Witterung, K. A., VIII, S. 26 ff. — [134] van Bebber, I, S. 211 ff. — [135] Fritz, Die wicht. per. Ersch., S. 299. — [136] Nervander, Ueber das Dasein einer bisher unbekannten Variation der Sonnenwärme, A. P. C., LXVIII, S. 188 ff. — [137] Buys Ballot, Ueber den Einfluss der Rotation der Sonne auf die Temperatur unserer Atmosphäre, A. P. C., LXVIII, S. 205 ff. — [138] Levänen, Einfluss der Sonnenflecke auf die Aufgangszeiten der Flüsse Finnlands und den Wasserstand im Finnischen Meerbusen, F., 1894, Nr. 11. — [139] Fritz, Die wicht. per. Ersch., S. 344. — [140] v. Schleinitz, Ueber die von der internationalen Meteorologenkonferenz in Hamburg, Oktober 1879, geplante Polarforschung, V. G. E. B., VII, S. 206 ff. — [141] Fritz, a. a. O., S. 342; Die Beziehungen etc., S. 161 ff. — [142] A. N., Nr. 2545; G., XVI, S. 116; V. A. G., XVIII, S. 235. — [143] Liznar, Ueber die Beziehung der täglichen und jährlichen Schwankung der Temperatur zur elfjährigen Sonnenfleckenperiode, Z. ö. G. M., XVII, S. 495 ff. — [144] Hahn, Neue Untersuchungen über den Einfluss der Sonnenfleckenperiode auf meteorologische Verhältnisse, Z. ö. G. M., XIII, S. 33 ff. — [145] Fritz, Die Beziehungen etc., S. 211 ff.; van Bebber, I, S. 250. — [146] Fritz, a. a. O., S. 215. — [147] H. J. Klein, Ueber die Beziehungen der Sonnenfleckenperiode zu den Cirruswolken, A. N., LXXX, Sp. 303 ff. — [148] Fritz, Die Bez. etc., S. 109. — [149] Fritz, Die wicht. per. Ersch., S. 316 ff. — [150] Meldrum, On a supposed Periodicity of the Rainfall, read for the Meteorological Society of Mauritius 10. Oct. 1872; Z. ö. G. M., VIII, S. 31 ff. — [151] Celoria, Se nella media temperatura annua, e se nella quantità di pioggia che chade, esiste un periodo sincrono a quello delle macchie solari, R. R. J. L., (2) VI. — [152] A. Broun, On the Sunspot Period and the Rainfall, P. R. S., 1874, S. 74 ff. — [153] Lockyer-Hunter-Archibald, The Cycle of Sunspots and of Rainfall in Southern India, London 1879; N. C., 1877, Nr. 9; N., XVI, S. 171 ff. — [154] Moigno, Les taches du soleil et le temps, M., (2) XLVI, S. 730 ff. — [155] Blanford, Report on the Variation of Rainfall in Tropical India with the Cycle of Sunspot Frequency, Kalkutta 1877. — [156] Strachey, On the alleged Correspondence of Rainfall at Madras with the Sunspot Period, P. R. S., 1877, Nr. 181. — [157] Fritz, Die Bez. etc., S. 145 ff. — [158] Ebenda, S. 134 ff. — [159] Reis, Die periodische Wiederkehr von Wassernot und Wassermangel im Zusammenhange mit den Sonnenflecken, den Nordlichtern und dem Erdmagnetismus, Leipzig 1883; Die 110jährige Periode der Hochwasser und des allgemeinen Witterungscharakters, H., III, S. 89 ff., 169 ff. — [160] Fritz, Die wicht. Ersch., S. 329. — [161] v. d. Gröben, Ein Beitrag zum Thema Sonnenflecken und Regenmengen, Z. ö. G. M., XIX, S. 1 ff., 115 ff. — [162] Kämtz, Lehrbuch der Meteorologie, II, Halle a. d. S. 1834, S. 510. — [163] Fritz, Die wicht. Ersch., S. 339. — [164] Fritz,

Die Bez. etc., S. 177; Günther, Der Einfluss etc., S. 65. — [165] Hornstein, Ueber die wahrscheinliche Abhängigkeit des Windes von den Perioden der Sonnenflecke, S. A. W., M. N., LXV, S. 391 ff.; Hahn, S. 163. — [166] Hill, Ueber eine 10jährige Periode in der jährlichen Aenderung der Temperatur und des Luftdruckes in Nordindien, Z. ö. G. M., XIV, S. 301 ff. — [167] Blanford, On the Barometric See-Saw between Russia and India in the Sunspot Cycle, N., XXI, S. 477 ff. — [168] Hann, W. G. J., VIII, S. 56 ff. — [169] A. Broun, Sunspots, Atmospheric Pressure and the Sun's Heat, N., XIX, S. 6. — [170] Archibald, Barometric Pressure and Sunspots, N., XX, S. 28. — [171] Hann, S. 119. — [172] Günther, S. 41, 65; W. A. M. G., 1874, Nr. 5; C. R., LXXVII, S. 1222, 1343. — [173] Fritz, Die Bez. etc., S. 197 ff., 201 ff. — [174] Meldrum, On a Periodicity of Cyclones and Rainfall in Connection with the Sunspot Periodicity, N., VIII, S. 495 ff. — [175] v. Czerny, S. 26; Fritz, Die wicht. per. Ersch., S. 353 ff. — [176] Zenger, La périodicité de la pression atmosphérique, C. R., XCVIII, S. 1355; Die Meteorologie der Sonne und ihres Systemes, Wien 1886; Ueber den Ursprung und die Periode der Stürme, S. G. P., 1878, S. 81 ff.; Ragona, Sull' origine delle tempeste giusta le recenti investigazioni del Prof. Zenger, A. St. M. J., II, S. 214 ff. — [177] v. Bezold, Ueber gesetzmässige Schwankungen in der Häufigkeit der Gewitter während langjähriger Zeiträume, S. A. M., M. P., IV, S. 284 ff.; Ueber das doppelte Maximum in der Häufigkeit der Gewitter während der Sommermonate, ebenda, V, S. 219 ff. — [178] Klein, Das Gewitter etc., S. 22 ff. — [179] Hahn, Ueber die Beziehungen etc., S. 161. — [180] Fritz, Die Bez. etc., S. 230 ff. — [181] Ebenda, S. 241 ff.; Fritz, Die wicht. Ersch., S. 360; N., XII, S. 374. — [182] Hahn, S. 156; v. Czerny, S. 20. — [183] Brocard, Note sur l'invasion des sauterelles en Algérie (Janvier-Août 1877), A. S. M. F., XXVI, S. 167 ff. — [184] Deichmüller, Besprechung zu Fritz, Die Bez. etc., V. A. G., XIV, S. 266 ff.

Kapitel VI.

Dynamische Meteorologie.

§. 1. Die Entwickelung der theoretischen Meteorologie. Es wurde früher (S. 4) schon in kurzen Zügen darauf hingewiesen, dass schon im XVIII. Jahrhundert achtbare Spuren einer wissenschaftlichen Behandlung meteorologischer Fragen sich nachweisen lassen. Als Kennzeichen solcher Behandlung betrachten wir den Verzicht auf astrometeorologische Spekulation (Kapitel V), damit also das Bestreben, tellurische Vorgänge möglichst bloss aus tellurischen Ursachen zu erklären. An der Hand der Darlegungen, welche man v. Bezold [1] und W. M. Davis [2] verdankt, soll der Entwickelungsprozess in folgendem kurz geschildert werden. Zugleich sei bemerkt, dass die Bezeichnung meteorologische Dynamik oder dynamische Meteorologie, welche anscheinend zuerst von Redfield und Loomis gebraucht wurde [3], ganz allgemein alle theoretischen Erörterungen decken soll, welche darauf abzielen, das Wechselspiel der atmosphärischen Ereignisse als Konsequenz feststehender Sätze der mechanischen Physik zu begreifen.

Belehrend für den Kampf zwischen alten und neu herandrängenden Lehrmeinungen ist eine Studie [4] J. H. Müllers (I, S. 366) über die ungewöhnliche Wärme des Winters von 1724. Drei Planeten seien zu einander in Konjunktion getreten und hätten durch ihre kombinierte Massenanziehung eine gewaltige Luftbewegung in der zunächst betroffenen Tropenzone verursacht. Soweit bewegt sich die Beweisführung im gewohnten Geleise; dann aber heisst es, die in die Höhe gestiegene, warme Luft sei nach der gemässigten Zone hin abgeflossen, dort herabgestiegen und so zu einem Wärmebringer für Europa geworden. Diese letztere Erwägung ist gewiss beachtenswert, wie denn Müller auch schon das Wesen des aufsteigenden Luftstromes kennt, dessen richtige Erfassung man sonst als ein Verdienst Saussures ansah [5]. Uebrigens kann man auch bei Mariotte und Halley diesen Begriff schon antizipiert finden [6] (s. u. in §. 5).

Weit klarer jedoch erfasste Hadley die Wahrheit, dass ungleicher Erwärmung verschiedener Erdstellen gewisse Luftbewegungen entsprechen müssen [7], und wenn auch durch D'Alemberts Rückfall in die Alleinherrschaft der lunaren Meteorologie der Fortschritt zunächst aufgehalten zu werden schien (S. 165), so

wirkte doch auch wieder nachhaltig Kants Theorie der Winde (s. u. in §. 5 und 6), auf deren hohe Bedeutung für die Physik der Atmosphäre neuerdings von Schneidemühl [8] mit Recht aufmerksam gemacht worden ist. Im neuen Jahrhundert war Brandes [9] unserer heutigen Anschauung sehr nahe gekommen, denn er wusste, dass die Luft von einem Punkte hohen Druckes gegen einen Punkt niedrigen Druckes abfliesst, und nur darin fehlte er, wie die Mehrzahl der nach ihm Kommenden, dass er sich von der Einwirkung der Erdumdrehung keine klare Rechenschaft gab. Von nun an sind es wesentlich ausserdeutsche Forscher, welche die mechanische Meteorologie fördern; zumal Espys erst in neuerer Zeit mehr gewürdigtes Werk über die Stürme [10] schloss sich den von Brandes begründeten Methoden an, und überhaupt war Nordamerika nunmehr die Heimat einer neuen Richtung geworden, welche hauptsächlich die in jenem Lande mit weit grösserer Energie sich geltend machenden Luftströmungen zum Ausgangspunkte nahm. Redfield betonte [11] die Notwendigkeit einer gründlichen Revision der herrschenden Systematik, und Reids Sturmgesetze [12] erwarben sich zumal bei den Seefahrern grosse Anerkennung, wie dieses Buch sogar einer Uebersetzung ins Chinesische teilhaftig geworden sein soll [13]. In Europa dagegen bahnte sich erst später der Umschwung an.

Hier stand die Wissenschaft lange Zeit gänzlich unter der Herrschaft der von Dove aufgestellten Theorie. Ausgehend von der Erkenntnis, dass am Aequator die erhitzte Luft aufsteigt und so ein Aspirationsgebiet für polare Luftströmungen entsteht, glaubte er allenthalben auf der Erde, einen äquatorialen Gürtel von geringerer Breite ausgenommen, einen steten Kampf zwischen einem Aequatorial- und einem Polarstrome wahrzunehmen, durch den in letzter Instanz für jede Witterungserscheinung die zureichende Erklärung gegeben sein sollte. In zahlreichen Veröffentlichungen [14] vertrat er diese Lehre mit grösstem Geschicke, indem er als generelles Ergebnis sein viel besprochenes Winddrehungsgesetz [15] folgendermassen aussprach: Auf der Nordhalbkugel setzen die Winde zumeist im Sinne, auf der Südhalbkugel zumeist gegen den Sinn der Uhrzeigerbewegung um. Für den am besten bekannten Teil unseres Kontinentes kommt der Regel (s. u. in §. 3) eine bedingte Gültigkeit zu, und man kann auch schon bei Aristoteles [16] und Plinius [17] Andeutungen gleicher Art, bei dem Schweizer J. Gessner [18] (1747) aber eine verhältnismässig klare Formulierung der Thatsache selbst erkennen. Aber ein wirkliches Naturgesetz, wie man lange Zeit glaubte, war damit nicht gegeben.

Die Opposition gegen Dove kam von zwei verschiedenen Seiten her. Die eine Richtung, vertreten durch Galton und Buys-Ballot (s. u. in §. 4) betonte die Notwendigkeit, zuerst die Spezialgesetze des terrestrischen Luftumtausches zu erforschen, ehe man solch umfassende Konzeptionen zu erfassen sich anschicke; die andere hielt zwar an dem Plane fest (s. u. in §. 7), eine den ganzen Erdball beherrschende Luftzirkulation als vorhanden nachzuweisen, aber die Problemstellung sollte doch eine durchaus andere werden. In dieser Weise gingen James Thomson und Ferrel vor; das Verdienst des erstgenannten, lange verkannt, hat unlängst Darwin wieder ans Licht gebracht [19]. Konkordanzversuche, wie sie noch zuletzt der in Doveschen Ideen zum Meteorologen erzogene Mühry anregte [20], konnten zu keinem Erfolge mehr führen. Die Zweistromlehre Doves gilt als überwunden, aber als Durchgangsphase ist sie noch jetzt von hohem geschichtlichem Werte; auch wird den zahlreichen übrigen Leistungen des grossen Gelehrten hiedurch keineswegs präjudiziert.

Als ein wertvolles Zeichen für den Ernst, mit welchem seit den sechsziger Jahren eine innigere Verbindung der Meteorologie mit der allgemeinen Physik angebahnt wurde, steht — neben den in §. 9 zu würdigenden Arbeiten Hanns über Fallwinde — das Werk von Reye [21] über atmosphärische Wirbelbewegungen da. Die beste systematische Darstellung des in den achtziger Jahren erreichten Standpunktes ist (S. 5) diejenige Sprungs [22], welche auch im Verlaufe dieses Kapitels vielfach benützt werden wird, ebenso wie das übersichtliche Werkchen De Marchis [23]. Auch eine Schrift des österreichischen Mathematikers v. Miller-Hauenfels [24] kommt in Betracht, wenngleich sie in manchen Punkten einen Sonderstandpunkt einnimmt.

§. 2. **Luftdruckverteilung und Temperatur; Isobaren.** Wenn innerhalb einer Flüssigkeitsmasse, einerlei ob tropfbaren oder elastischen Charakters, Bewegungen vor sich gehen, so ist deren Tendenz stets, den irgendwie gestörten Gleichgewichtszustand wiederherzustellen. Ungleiche Erwärmung einzelner Teile der Masse bedingt deshalb Strömungen, und innerhalb unserer Atmosphäre, welche so vielfältigen Anlässen der Temperaturveränderung ausgesetzt ist, kann niemals völlige Ruhe eintreten. Bewegte Luft nennen wir Wind; das Wehen der Winde ist die naturnotwendige Folge ungleicher Temperierung, als deren Ursachen Strahlung, Leitung und Konvektion (I, S. 333), je nach den besonderen Umständen, anzusehen sind.

Auch dann, wenn keine unmittelbare Bewegung erkennbar ist, gilt als ein durchgehendes Gesetz das folgende: Die Lufttemperatur nimmt mit der Höhe ab. Die näheren Modalitäten des Gesetzes bleiben ebenso, wie die nicht ganz seltenen Ausnahmen, dem nächsten klimatologischen Kapitel vorbehalten; nur die Thatsache selbst interessiert uns schon an dieser Stelle. In theoretischer Hinsicht sind, wie besonders Aug. Schmidt darthut [25], die Akten über Grund und Wesen der vertikalen Temperaturabnahme noch durchaus nicht geschlossen. Unter dem Gesichtspunkte der mechanischen Wärmetheorie haben einerseits Reye [26], andererseits Guldberg und Mohn [27] Erklärungen der Thatsache zu geben versucht, welche jedoch nicht auf das gleiche hinauskommen. Die numerischen Verhältnisse wurden von Hann [28] zuerst mit einer solchen Genauigkeit festgestellt, dass auch die Folgezeit an seinen Resultaten in der Hauptsache nichts mehr zu verändern hatte. In Gebirgsländern nimmt die Temperatur bei zunehmender Höhe zumeist gleichmässig ab; Abweichungen von diesem Sachverhalte sind örtlichen Einflüssen zuzuschreiben [29]. Im Mittel nimmt für die Alpen und für den grössten Teil der deutschen Gebirge die Temperatur um etwas über einen halben Zentigrad auf 100 m Vertikaldistanz ab; besonders langsam vollzieht sich der Temperaturrückgang im Gebiete der Rauhen Alb. Anders liegen die Dinge, wenn es sich um die freie Atmosphäre handelt. Aus den Luftfahrten Glaishers (S. 84) zog Hann, je nachdem der Aufstieg im Sommer oder in einer der beiden Uebergangsjahreszeiten stattgefunden hatte, zwei Erfahrungsformeln, um die Temperatur t, welche einer Entfernung h (in m) vom Grunde des Luftmeeres entspricht, in der dort herrschenden Temperatur T auszudrücken; es soll sein resp.

$$t = T - 0{,}0076413\,h + 0{,}0000004314\,h^2; \quad t = T - 0{,}0062218\,h + 0{,}0000002737\,h^2.$$

Doch gelten diese Beziehungen nur für grössere Höhen. Als lineare Funktion des Luftdruckes will Mendelejew [30] die Temperatur betrachtet wissen. Für die ektropischen Erdgürtel bis etwa zum 60. Breitengrade kann man nach Hann [31] eine Abnahme von etwa 0,57° als einer Vertikaldistanz von 100 m entsprechend annehmen; in der heissen Zone tritt keine Verschiedenheit von Belang ein. Direkte Messung gewährt natürlich die besten Ergebnisse, doch kann, wie Korselt [32] ausführt, subsidiär auch die Vergleichung barometrischer Höhenmessungen (S. 62) mit anderweiten Bestimmungen Dienste leisten. Die Bewölkung ist von Süring [33] als ein einflussreicher Faktor erkannt worden; in den Morgenstunden heiterer Tage erfolgt die vertikale Wärmeänderung in den unteren Schichten verhältnismässig langsam, wogegen an den trüben Tagen der warmen Jahreszeit gerade in der Tiefe diese Aenderung am raschesten vor sich geht. Von Wichtigkeit ist es weiter, zu wissen, ob die Luft trocken oder feucht ist; zur Beurteilung der in einer feuchten Luftsäule obwaltenden Temperaturverhältnisse hat Hertz [34] ein bequemes Verfahren angegeben. Kurz, es gibt eine Fülle von Einwirkungen, welche beachtet sein wollen; aber da zumal in den oberen Regionen die Luft ein trefflicher Leiter ist, so muss man mit Maurer [35] doch eine stetige Neigung anerkennen, die Temperaturverteilung einem stationär-stabilen Zustande entgegenzuführen. Bei dieser Betrachtung ist man dann an demselben Punkte angelangt, von welchem dereinst Hanns [36] bahnbrechende Untersuchung ausging.

Von der augenblicklichen Temperaturanordnung ist der Luftdruck direkt abhängig. Um uns von seiner Verteilung ein anschau-

liches Bild zu verschaffen, wenden wir ein in der Geophysik immer wieder sich darbietendes Verfahren an: Wir denken uns alle die Punkte, in denen der Barometerstand der gleiche ist, durch eine Fläche gleichen Luftdruckes, eine Isobarenfläche (ἴσος, gleich; βάρος, Schwere) verbunden. Eine solche Fläche graphisch darzustellen, ist allerdings nicht ohne weiteres möglich; wohl aber können wir die Kurven aufsuchen und kartographisch festlegen, in denen die Erdoberfläche von jenen Flächen geschnitten wird. Solche Linien nennen wir schlechtweg Isobaren. Auch ist vorgeschlagen worden, die Linien gleicher Dichte, Isopyknen (I, S. 356) oder Aequidensen (aequus, gleich; densus, dicht), in die Karten einzutragen.

Sowohl der Name als auch das Prinzip rühren unseres Wissens her von dem schottischen Meteorologen Buchan [37], der durch seine Kärtchen der Monatsisobaren seiner Wissenschaft einen grossen Dienst leistete. Für etwa 100 Orte wurde der mittlere Monatswert des Luftdruckes ermittelt, ähnlich kann man natürlich auch Tages-, Halbjahrs- und Jahresisobaren entwerfen, indem man die Mittel für diese Zeiträume bildet. Schon Buchan dachte aber auch daran, seine Werte vergleichbar zu machen, denn da die Beobachtungsplätze in verschiedener Meereshöhe liegen, und da die Entfernung vom Meeresspiegel an und für sich schon den Luftdruck bestimmt, so tritt die Notwendigkeit ein, alle Zahlen auf das Meeresniveau zu reduzieren. Dafür, dass dies geschehe, ist Hann [38] von Anfang an eingetreten und hat an dem Grundsatze, trotz Widerspruches von angesehener Seite, auch bei der Bearbeitung der Isobarenkarten in der Neuauflage des Berghausschen Atlasses (I, S. 32) festgehalten.

Die durch den Jahreszeitenwechsel hervorgerufenen Gegensätze in der Druckverteilung werden am deutlichsten, wenn wir den Januar-Isobaren die Juli-Isobaren gegenüberstellen. Dies geschieht für die Nordhemisphäre in Fig. 37 nach van Bebber [39]. Es sind in diesen Diagrammen auch die mittleren Windrichtungen verzeichnet, weil, wie §. 4 zu zeigen hat, durch die Lage benachbarter Isobaren auch Richtung und Stärke des Windes bestimmt sind. Um aus gegebenen anemographischen Aufzeichnungen jene Durchschnittsrichtungen abzuleiten, bedient man sich entweder der Lambertschen Regel (S. 97) oder auch eines Verfahrens, welches Supan [40] der in der Stöchiometrie üblichen — Richmannschen — Mischungsformel nachgebildet hat.

Oertlichkeiten, in deren Nähe der Luftdruck besonders hohe Werte annimmt, sind barometrische Maxima oder Elevationen; ihnen stehen Bezirke tiefen Barometerstandes als barometrische Minima oder Depressionen gegenüber. Die Januarkarte lässt vier Maximal- und drei Minimalgebiete, die Julikarte lässt zwei Maximalbereiche und ein Minimalbereich besonders deutlich hervortreten. Wenn auch nicht direkt, so doch durch Interpolation kann man einer gegebenen Karte auch die Punkte entnehmen, in denen nicht bloss relativ, sondern absolut Maximal- und Minimaldruck herrscht, soweit der betreffende Zeitpunkt in Frage kommt. Beiläufig sei bemerkt, dass nach Ssresnewsky und Woeikow [41] der zur Zeit bekannte höchste Barometerstand (803 m) im Dezember 1877 zu Barnaul (Sibirien) beobachtet ward, während Blanford [42], als von einem Gegenstücke, von einem Minimum an der Küste von Orissa (Indien) berichtet, welches 689 mm betrug. Es versteht sich von selber, dass in beiden Fällen schon die Reduktion auf die gemeinsame Nullfläche vorgenommen worden war.

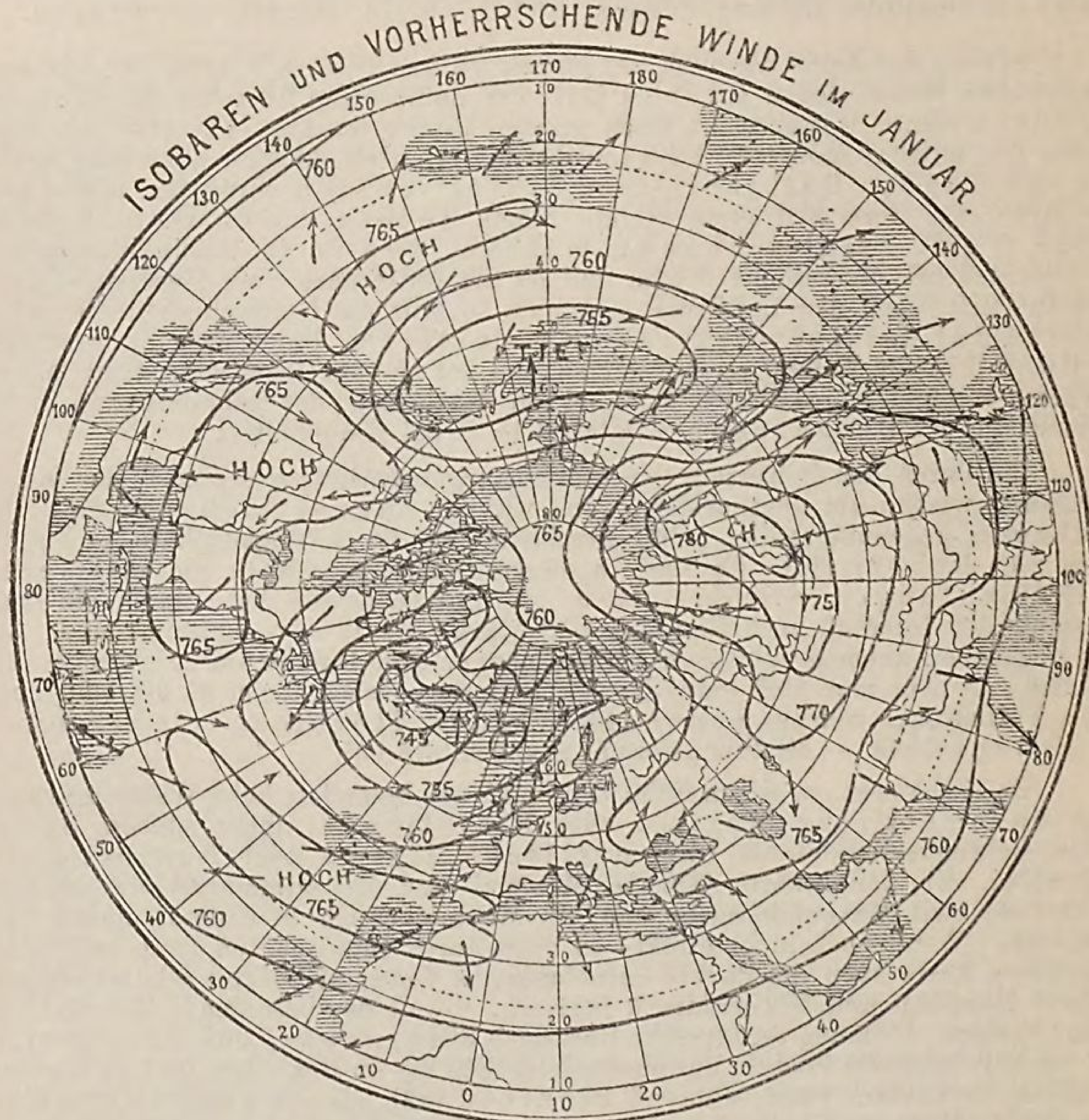
Der Umstand, dass die barometrischen Elevationen und Depressionen beider Halbkugeln sich zu verschiedenen Zeiten nach Lage und Ausmass sehr verschieden gestalten, lässt keinen Zweifel darüber, dass innerhalb der Erdatmosphäre ein kontinuierlicher Austausch von Luft über den Aequator weg im Gange ist. Dieser Austausch, der alternierend vor sich geht, wird hauptsächlich durch die ungleiche Verteilung von Wasser und Land im Norden und im Süden bedingt (s. u. in Abt. VI, Kap. I), kraft deren sich ja auch die Erwärmung abweichend gestalten muss. Aus Kleibers kartographischer Darstellung [43] ist auf eine nahezu entgegengesetzte Luftdruckverteilung für Teile des nämlichen Parallelkreises zu schliessen, falls sie bezüglich von Wasser und von Land eingenommen werden, und eben derselbe Meteorologe hat es unternommen [44], durch Verzeichnung der Isobaren auf

Karten von flächentreuer Projektion (I, S. 294) den Luftwechsel quantitativ zu schätzen. Er findet, dass sich im Juli auf der nördlichen Hemisphäre rund 200 000 kg Luft weniger als auf der südlichen befinden.

Zu Gunsten der Mitberücksichtigung der Isopyknen (s. o.) hat sich, neben v. Miller-Hauenfels und De Marchi, insbesondere Ekholm ausgesprochen [45]. Er entwickelte zu dem Ende eine Formel, mittelst deren die Dichte aus dem gegebenen Barometerstande hergeleitet werden soll.

Mit einem eingehenden Studium der Beständigkeit, welche sich in der Lage der Isobaren zu verschiedenen Zeiten und über verschie-

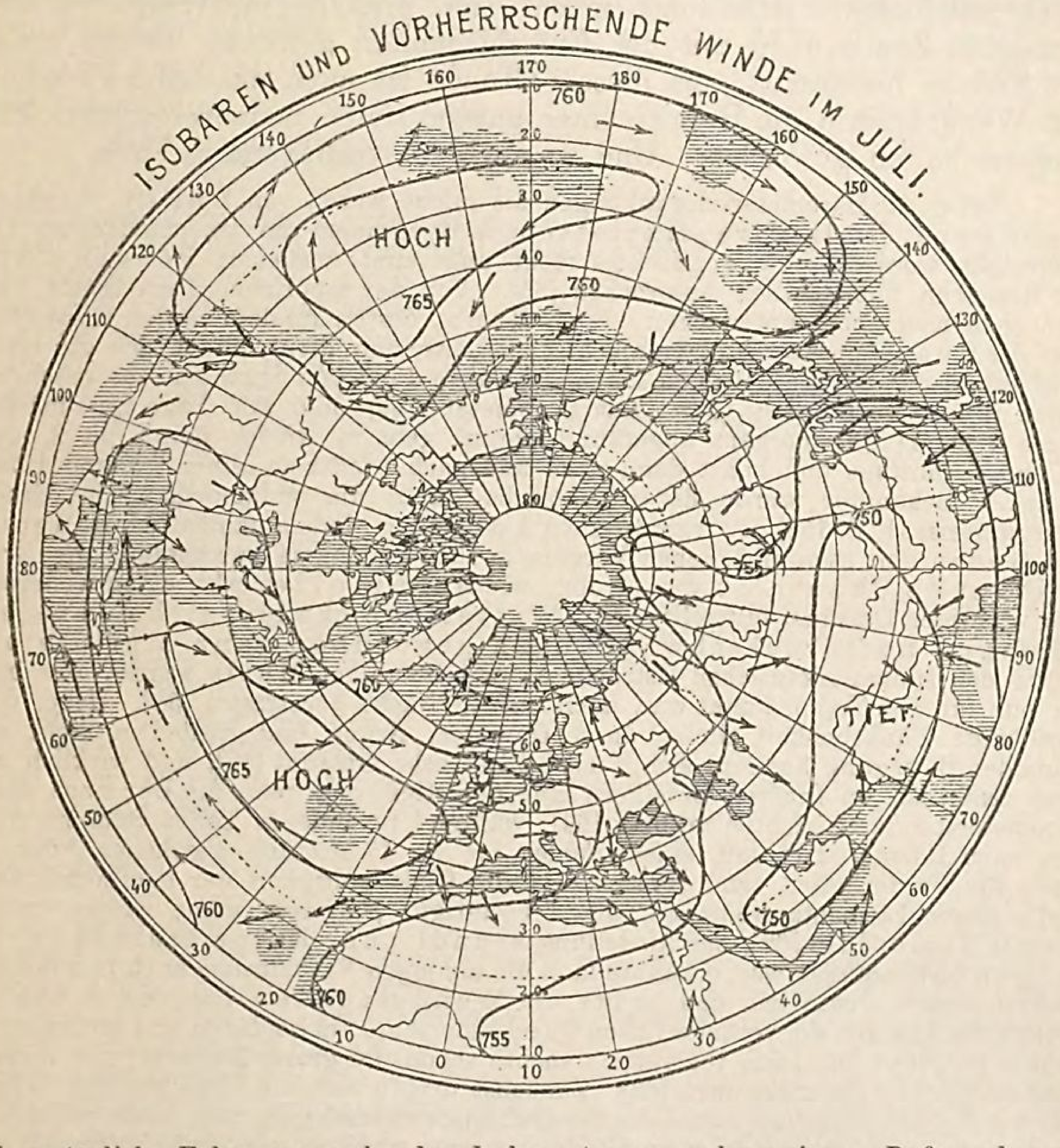
Fig. 37a.



denen Ländern offenbart, ist in neuerer Zeit begonnen worden, und bald haben sich auch wichtige Erfolge eingestellt. Zwar kann erst in Kap. X der ganze Nutzen gewürdigt werden, welchen die Betrachtung der synoptischen Karten (συνόπτεσθαι, überblicken) gewähren kann, aber jetzt schon kann darauf aufmerksam gemacht werden, dass mit der Einsicht in die augenblickliche Verteilung des Luftdruckes gleichzeitig auch das Verständnis der sogenannten typischen Witterungserscheinungen ermöglicht wurde, welche von der Lage und Ausbreitung gewisser meteorologischer Aktionszentren abhängig sind. Zusammenfassend hat van Bebber [46] alle diese Fragen abgehandelt.

Als Urheber dieser fruchtbaren Arbeitsrichtung ist wohl Hoffmeyer [47] zu bezeichnen, aber ebenso sehr fällt auch das Verdienst der umfassenden Untersuchungen von Teisserenc de Bort [48] in die Wagschale. Es handelt sich zunächst um die mehr oder weniger stabilen Isobaren des Atlantischen Ozeanes, dessen souveräner Einfluss auf die Wetterlage Westeuropas jetzt unbestritten ist. Es werden von van Bebber und Köppen ozeanische, kontinentale, litorale, nordische und peripherische Typen unterschieden [49], die allerdings nicht immer gleichmässig entwickelt und auch nicht an die gleichen Plätze gefesselt sind, deren Mitwirkung bei der Gestaltung der atmosphärischen Bewegungen im einzelnen sich jedoch bis in die synoptische Tageskarte hinein verfolgen lässt [50]. Die Witterungsverhältnisse Ozeaniens suchte in ähnlicher Weise Abercromby [51]

Fig. 37b.



als natürliche Folge massgebender Isobarentypen nachzuweisen. Dafür, dass in der That im Einzelfalle ein bestimmtes Aktionszentrum als Regulator der momentanen Zustände erkennbar wird, kann eine Charakteristik als Beispiel angeführt werden, welche Less [52] von den Frühlingsmonaten des Jahres 1893 gegeben hat. Mit der Luftdruckverteilung hängt auch die Temperaturverteilung enge zusammen, und wenn im Juni, wie im Mai auffällige Rückgänge im Erwärmungszustande Westeuropas eintreten, so trägt daran auch eine Verschiebung der Aktionszentren die Schuld [53]. Indessen kann über den Zusammenhang dieser Vorkommnisse erst im §. 4 Rechenschaft gegeben werden.

Von der aktuellen Nützlichkeit solcher Studien sei hier nur ein Beispiel namhaft gemacht. Aus den Isobarenkarten las Supan [54] das Vorhandensein

einer arktischen Windscheide heraus; dies ist ein Rücken hohen Luftdruckes, welcher sich von Asien nach Amerika hinüberzieht und, wenn auch mit einigen Lageveränderungen, vom November bis zum Mai erhalten bleibt. Gestützt auf diese Wahrnehmung, war der deutsche Geograph einer der wenigen, welcher dem Plane Nansens einen günstigen Ausgang prognostizierte, während die grosse Mehrzahl der Fachmänner, vorab der britischen, dem Projekte sehr skeptisch gegenüberstand.

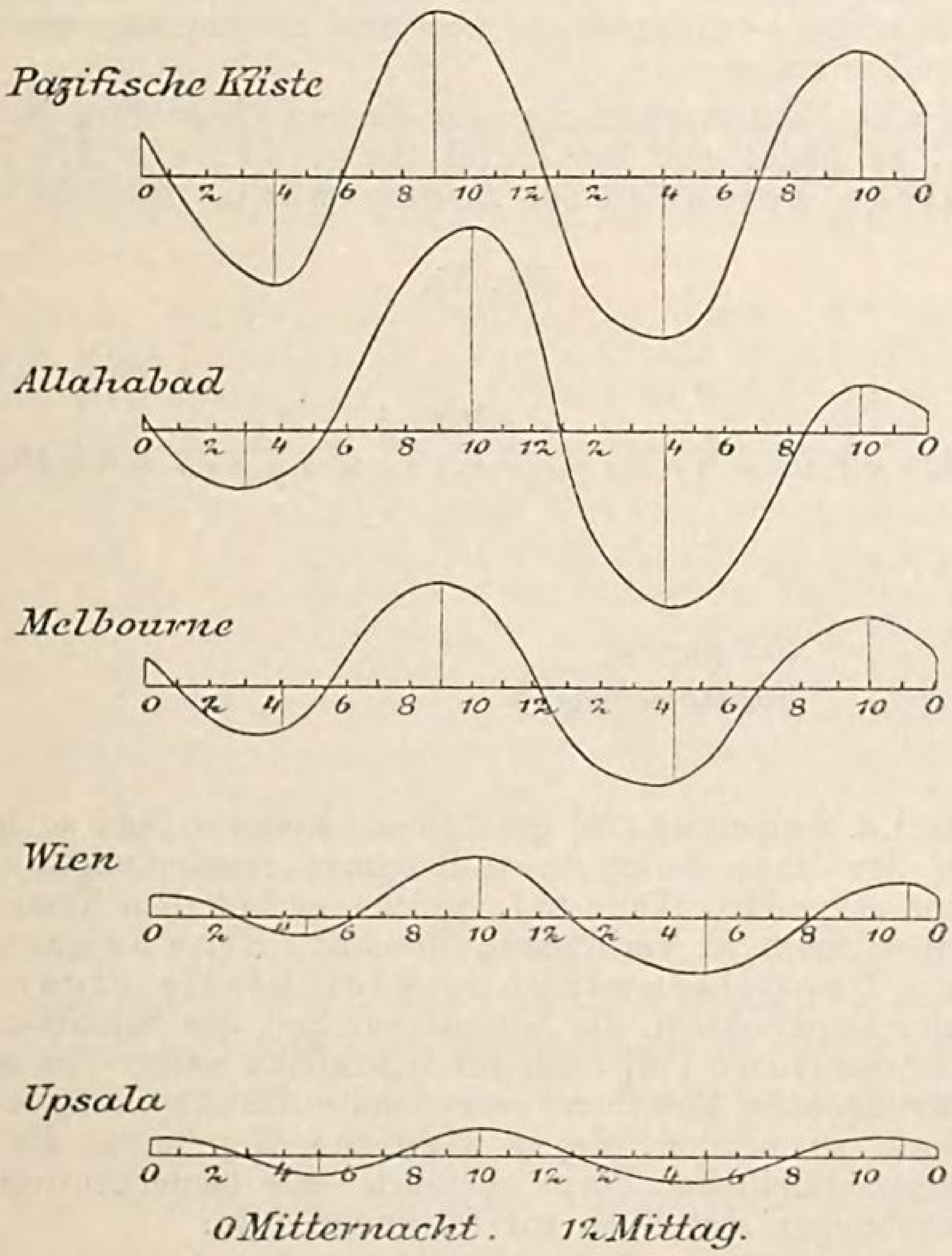
§. 3. **Periodische und unperiodische Luftdruckschwankungen.** Im Verlaufe des XVII. Jahrhunderts kamen regelmässige Beobachtungen des Barometerstandes allmählich in Aufnahme, und da stellte sich denn heraus, dass diese Oszillationen mit einer gewissen Regelmässigkeit stattfinden. Allerdings macht sich dieselbe innerhalb der gemässigten Zonen nicht mit der Entschiedenheit geltend, welche unter den Tropen hervortritt; aus diesem Grunde ist auch das Land zwischen den Wendekreisen die Heimat einer ganzen Reihe meteorologischer Errungenschaften geworden. Und so auch im vorliegenden Falle.

Ueber die Barometerschwankungen als solche waren von Halley, Lister, Woodward, De la Hire, Mariotte u. a. Hypothesen der verschiedensten Art aufgestellt worden, welche teilweise recht ungereimt ausfielen; Poggendorff hat dieselben übersichtlich besprochen [55]. Von der tropischen Periodizität war man eben noch nicht unterrichtet. Nach Hann, dessen fundamentaler Essay [56] über die Barometerschwankungen uns hier als Leitschnur dient, findet sich die erste Erwähnung des Sachverhaltes in einem im Jahre 1722 von Surinam aus geschriebenen Briefe, wo es heisst [57]: „Das Barometer steigt hier alle Tage regelmässig gegen 9 bis 11 Uhr morgens ungefähr, hierauf geht es wieder herab bis 2 oder 3 Uhr nachmittags und kehrt dann nach und nach wieder zu seiner früheren Höhe zurück.“ Bekannter wurde diese Thatsache durch die südamerikanische Gradmessungsreise (I, S. 152) der französischen Akademiker, indem namentlich Bouguer und Godin den atmosphärischen Vorgängen ihre Teilnahme zuwandten, aber erst Thibaut de Chanvalot war es, der, wie Hann (s. o.) bemerkt, einen weiteren, sehr wichtigen Umstand feststellte: Die Wetterlage erweist sich den regelmässigen Luftdruckschwankungen gegenüber ganz einflusslos. Durch den südamerikanischen Astronomen und Botaniker Mutis wurde, was bisher nur für den Tag bekannt war, auch auf die Nacht übertragen [58]. Ueber die grossartige Pünktlichkeit dieser durch Gewitter, Regen und Erdbeben nicht zu störenden Bewegung äusserte sich Humboldt sehr erstaunt [59], und wirklich ist diese Exaktheit im Inneren Brasiliens eine derartige, dass man die Uhr nach dem Barometerstande zu richten vermag [60], während in anderen Teilen Südamerikas dies nach Humboldt mit einem Fehler bis zu 17 Minuten geschehen könnte. Auch für Vorderindien fand Sykes [61] die Gleichgültigkeit der barometrischen Welle gegen Elementarereignisse vollauf bestätigt. Nachdem man, wieder unter Vortritt Humboldts [62], zur Anstellung stündlicher Barometerbeobachtungen fortgegangen war, erkannte man die analogen Verhältnisse auch in höheren Breiten immer deutlicher und stellte die Wendestunden fest, durch welche zeitlich die Ankunft der veränderlichen Quecksilbersäule am höchsten und niedrigsten Punkte markiert ist; auch theoretisch suchte schon der grosse Naturforscher dieser Gesetzmässigkeit beizukommen [63]. Zunächst drehte sich die Untersuchung lediglich um die tägliche Doppelperiode der Luftdruckschwankung, aber nach und nach wurde man inne, dass sich diese Welle mit einer zweiten von einfacherem Typus kombiniere, und damit eröffnete sich ein Problem, das ebenso von grösster Schwierigkeit, wie auch von höchstem Interesse ist. Es lag fürs erste nahe, an eine kosmische Kraft zu denken, welche eine Gezeitenbewegung der irdischen Lufthülle in Gang erhalte. Die nicht ganz fernliegende Ansicht, dass die Mondanziehung im Spiele sein möge, hatte schon Humboldt [64] abgelehnt, und auch die Sonneneinwirkung, an welche zuerst Hemmer [65] gedacht zu haben scheint, musste schliesslich verneint werden, obwohl Lamont [66] eine gewisse Abhängigkeit der Luftbewegungen vom elektrischen Sonnenpotentiale (S. 156) sehr wahrscheinlich gemacht zu haben glaubte. Der Nachweis dafür, dass weder Fleckenfrequenz noch solare Elektrizität eine ausschlaggebende Rolle spielen, ist als von Hann [67] erbracht anzusehen.

Wir wollen nunmehr die Erscheinung selbst näher kennen lernen. Wie die Sinuskurven der Fig. 38 bekunden, welche für fünf auf der Erdoberfläche weit auseinander liegende Oertlichkeiten gezeichnet sind, gilt als Regel für Orte von geringer Meereshöhe: Die Wendestunden fallen ziemlich genau auf 10 Uhr vormittags und abends (Maximum) und auf 4 Uhr morgens und nachmittags (Minimum). Vormittagsmaximum und Nachmittagsminimum sind am stärksten ausgebildet, doch verwischen sich die Differenzen mehr und mehr, wenn man sich den Polen nähert.

Während unter den Tropen die Wendestunden erwähntermassen von überraschender Konstanz sind, ist nördlich und südlich von jener Zone der Einfluss

Fig. 38.

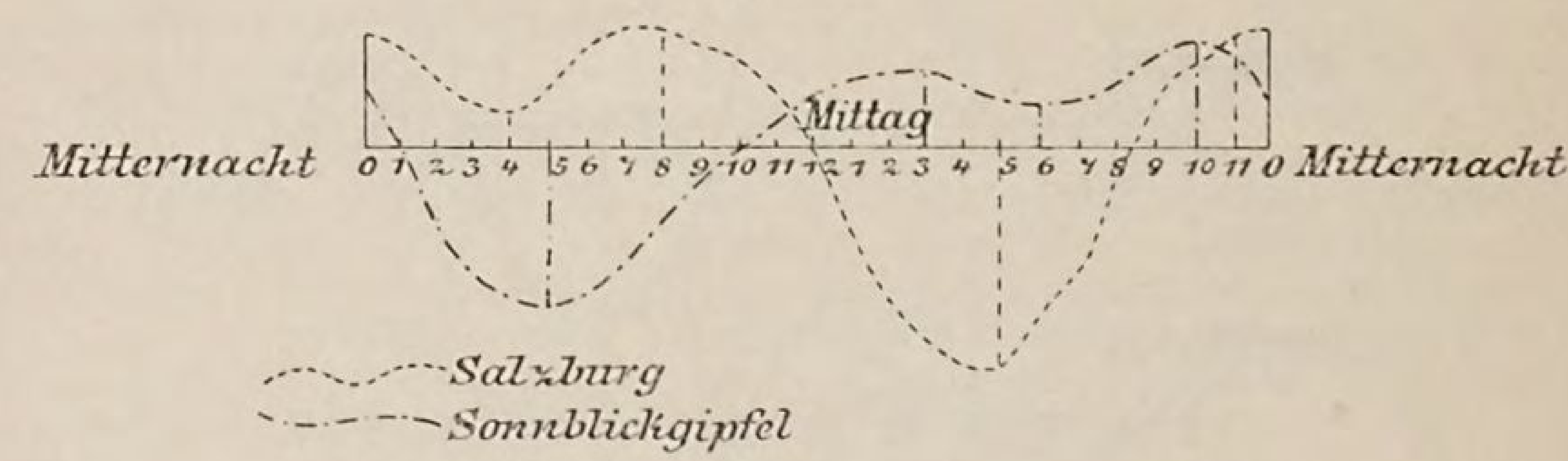


der Jahreszeiten auf obige Termine ein unverkennbarer [68], und auch die Lage des Beobachtungsortes, ob mehr im Inneren oder an der Küste eines Festlandes, ist Blanfords Untersuchungen zufolge nicht gleichgültig [69], weil der Wechsel der Land- und Seewinde konkurriert. Vor allem aber ist die Meereshöhe ein gewichtiges Moment, und zwar dürfte der Einfluss eines isolierten Bergsockels kein erheblicher sein, während Plateaux und Hochthäler natürlich wieder Aenderungen mit sich bringen. Durch Vergleichung der für Salzburg und den Sonnblickgipfel (3100 m) angelegten Tageskurven [70] (Fig. 39) erkennt man am besten, wie sich in der Höhe Maxima und Minima verschieben. Speziell der Amplitude der Tagesschwankung, d. h. des Vertikalabstandes zwischen Sattelhöhe und Muldentiefe, ward noch nicht gedacht; Angot drückt dieselbe (in Millimeter) durch die Deklination δ der Sonne und Polhöhe φ aus, indem er sie [71], unter k eine empirische Konstante verstanden, gleich $k \cos^2 \delta \cos^2 \varphi$ setzt

Die erste einigermassen wissenschaftliche Erklärung der doppelten Oszillation gab Le Cat, indem er auf die von den Winden mitgebrachten ungleichen Wärmevorräte hinwies [72], indess lag, da der Windwechsel doch kein regelmässiger ist, das Unzureichende des Versuches klar zu Tage. Eine ältere Hypothese Ramonds zur Grundlage nehmend, sprach sich Rykatschew [73] für die Existenz eines wärmsten und kältesten Erdmeridianes zu gegebenem Zeitpunkte aus, mit denen je ein Meridian niedrigsten und höchsten Luftdruckes korrespondiere, und zwischen beiden sei ein System von oberen und unteren Luftströmungen ausgebildet. Andere, ebenfalls die Wärmeverteilung des Tages als oberste Ursache verwertende Theorien rühren von Buchan [74] her, mit dem auch Blanford und Kreil wesentlich übereinstimmen [75]. Da aber auf den offenen Ozeanen, trotz minimaler Temperaturzunahme, das Morgenmaximum ebenso gross wie über den rasch sich erhitzenden Kontinenten zu sein pflegt, so sind auch diese Hypothesen ohne Beweiskraft. Uebrigens wollte Rykatschew (s. o.) auch noch ein drittes Maximum und Minimum in der barometrischen Sinuskurve schwach angedeutet erblicken, und Dankwortt hält dafür [76], dass diese den schwierigen Fall noch mehr komplizierende Undulation auch in seinen Magdeburger Beobachtungen sich ausspreche — mutmasslich nur eine Konsequenz des gleich nachher auszusprechenden Lehrsatzes.

Will man eine Naturerscheinung periodischen Charakters in ihrer Eigenart völlig erkennen, so bleibt nur das Mittel übrig, auf sie die Darstellung durch Besselsche Reihen (S. 80) anzuwenden. Dies ist denn auch von

Fig. 39.



Angot [77] und Ad. Schmidt [78] geschehen. Ersterer fand so in der Halbtagsschwankung auf der einen Seite ein vollkommen regelmässiges Glied, auf der anderen aber eine sekundäre Welle auf, welche er mit dem Temperaturgange in den unteren Luftschichten in Verbindung brachte. Eine Jahresperiode ist der täglichen Doppelschwingung gleichfalls eigen; die Maxima treten zur Zeit der Aequinoktien, die Minima zur Zeit der Solstitien hervor. Diese jährliche Periode wies Hann [79] auch für Westafrika nach. Vor allem sind aber wieder des letztgenannten Forschers ausgedehnte Untersuchungen [80] über die Reihenentwickelung zu nennen, deren wichtigste Ergebnisse die mehrgenannte Arbeit in gemeinverständlicher Form vorführt. Als bemerkenswertesten Gewinn aller dieser Bestrebungen statuieren wir folgenden Satz:

Mit der Halbtagsschwankung tritt stets in Wechselwirkung eine zweite Oszillation, deren Periode genau mit einem Tage übereinstimmt.

Diese letztere Schwingung, für welche mithin der Name Tagesschwankung sich empfiehlt, hängt aufs direkteste mit der täglichen Temperaturveränderung (s. u. in Kap. VII) zusammen; die halbtägige Periode dagegen weist auf ein einheitlich-tellurisches Phänomen hin. In der Luftdruckkurve offenbart sich die Uebereinanderlagerung oder Koexistenz zweier Wellenbewegungen, deren schwächere rein örtlich ist, deren stärkere hinwiederum sich so einheitlich ausprägt, dass alle Abweichungen von der Gesetzmässigkeit lokalen oder selbst nur zufälligen Ursprunges sein können. Es gibt zweifellos eine

universelle einmalige Luftdruckschwankung, eine stehende atmosphärische Schwingung von 23stündiger Dauer, aber es gibt genug Trübungen, welche dieselbe nicht rein zum Ausdrucke kommen lassen.

„Sie erscheint uns als eine verwickelte Erscheinung [81], da fast alle meteorologischen Vorgänge, welche auf die tägliche Luftdruckschwankung Einfluss nehmen, wenigstens der Hauptsache nach eine einmalige tägliche Periode haben." Die zwischen Thal- und Gipfelstationen bestehenden Verschiedenheiten des Kurvenverlaufes haben ihren Grund in den Hebungen und Senkungen der Niveauflächen, welche selbst wiederum durch die Temperaturschwankungen in den niedrigeren Luftschichten bedingt sind. Da die terrestrische und die örtliche Komponente in ihren Perioden entgegengesetzte Phasenzeit aufweisen, so darf man annehmen, dass in einer gewissen Höhe über dem Erdboden beide Oszillationen sich ganz oder grossenteils aufheben müssen. Auf dem Gipfel des Fuji-san (I, S. 407) ist, wie Hann [82] zeigte, dieser Sachverhalt zwar noch nicht verwirklicht, aber man ist ihm doch bereits viel näher gekommen. Für die mächtige Ingerenz der Erwärmung durch die Sonne spricht weiter Steens [83] Erfahrung, dass auch eine Sonnenfinsternis eine Miniaturwelle hervorzurufen pflegt. Die Doppelschwingung freilich ist, sehr im Gegensatze zur einfachen, auch vom Bewölkungszustande unabhängig, wie dies nach den Angaben über die aprioristische Verschiedenheit beider Erscheinungen zu erwarten war, und wie es zudem auch noch Nakamuras [84] Rechnungen bewahrheiteten.

Eine durchaus befriedigende Deutung des Wesens der halbtägigen Periodizität steht noch aus. Korselts [85] Vergleich mit einer Pfeife, die von der Erde bis zur Grenze der Atmosphäre reicht, und in welcher eine Luftsäule Längsschwingungen vollführt, würde doch sicher nur einem Teile des Erscheinungskomplexes, nicht aber diesem selbst genügen können. Hann selbst neigt [86] am meisten einer von W. Thomson (Lord Kelvin) [87] ausgesprochenen Ansicht zu, die darin besteht, dass man es mit wirklichen Gezeiten zu thun habe, die nur nicht durch lunare Gravitation, sondern durch die tägliche Variation der Erderwärmung ausgelöst seien. Die Laplaceschen Formeln (S. 160) könnten dann direkt auch für diese Art der Wellenbewegung nutzbar gemacht werden, um so mehr, da die mathematische Betrachtung, welche Margules anstellte [88], ergeben habe, dass zur Erzeugung einer Schwingung von 12stündiger Periode weit weniger Kraft gehöre als zur Erzeugung einer Oszillation von der doppelten Dauer. Dabei werde allerdings vorwiegend auch an die in den oberen Luftregionen vor sich gehende Wärmeabsorption gedacht werden müssen.

So ist man denn in der Ergründung der periodischen Luftdruckschwankungen ziemlich weit gekommen, obschon von einer abschliessenden Erklärung noch keineswegs die Rede sein kann. Noch weniger ist daran zu denken, dass die teilweise regellosen aperiodischen Schwankungen kausal begriffen wären. Ihrer wird, soweit sie intensiver auftreten, in §. 12 und 13 noch besonders zu gedenken sein.

Die unperiodischen monatlichen Oszillationen hat Felberg [89] dadurch übersichtlich zu machen verstanden, dass er alle Erdorte, für welche die Amplitude gleiche Grösse hat, durch barometrische Isanomalen miteinander verband. Als eine sehr häufig sich ergebende Veranlassung zu solchen Schwankungen erachtet Klitzkowski [90] das plötzliche Eindringen von Luftströmen in ein atmosphärisches Gebiet von indifferentem Gleichgewichtszustande.

Anhangsweise möge in diesem Paragraphen auch noch von gewissen Regelmässigkeiten gehandelt werden, welche man in der Bewegung der Winde bemerkt, und welche wahrscheinlich zu den periodischen Schwankungen des Luftdruckes in fernerer oder näherer Beziehung stehen. Das Thema ist unerschöpflich, die darüber erwachsene Litteratur ungemein umfangreich, und es muss deshalb bei der Hervorhebung einiger bemerkenswerter Punkte sein Bewenden haben.

Eine Tagesperiode der Windstärke kann sich innerhalb weiter, von Bewegungshindernissen freier Ebenen am besten zur Geltung bringen; Hegyfoky [91] konstatierte in Ungarn, dass im Sommerhalbjahre zwischen 7 ha und 9 ha ein Anwachsen der Windstärke regelmässig zu bemerken ist, und Satke [92] kam in Galizien zu der gleichen Erkenntnis, indem sich allerdings die Geschwindigkeitsmaxima als für die einzelnen Wolkenschichten verschieden auswiesen. Hingegen ist dem gleichen Gewährsmanne [93] zufolge zwischen den in Tiefebenen und auf Bergeshöhen erhaltenen Resultaten eine Uebereinstimmung nicht vorhanden; eine tägliche Periode der Winddrehung scheint zwar nirgends zu fehlen, aber in verschiedenen Höhen ist auch der Drehsinn ein verschiedener. In Oberitalien tritt, wie Köppen [94] ermittelte, das tägliche Maximum der Windintensität ungewöhnlich spät ein; zwischen Alpen und Apenninen zieht sich am Po ein Gebiet winterlicher Nachtwinde hin, und diese Anomalie lässt sich bis ans östliche Ufer des Adriatischen Meeres verfolgen. Stark verspätet sich nicht selten auch das Maximum in Oberösterreich, wo sonst gegen Mittag der Wind am lebhaftesten weht [95]. Das erwähnte Maximum ist aber nicht etwa einer bestimmten Windrichtung eigen, sondern manchen Orts wandert es im Laufe der Monate um den ganzen Horizont herum [96]. Vielleicht am eingehendsten hat sich mit gegenwärtigem Probleme wohl Augustin in Prag beschäftigt, dem man die Feststellung des Gültigkeitsbereiches der Doveschen Regel (S. 179) zu danken hat [97]. In Europa sind Stationen mit komplizierter Winddrehung häufiger, als solche, deren Beobachtungsregister einfache Verhältnisse erkennen lassen. Diejenigen Orte, in denen der Drehsinn demjenigen des Uhrzeigers entgegengesetzt ist, gehören ausschliesslich Nordeuropa an, doch gibt es auch im zentralen und südlichen Teile unseres Erdteiles einzelne Inseln gleichen Charakters, wie z. B. Madrid, Mailand, Reggio (Cal.), Korfu. Binnenorte, wie Leipzig und München, neben welche sich aber auch Plätze von mehr maritimem Gepräge — Paris, Dublin — stellen, haben in den zwei Jahreshälften entgegengesetzten Drehsinn zu verzeichnen. In Asien beschränkt sich die Jahresperiode meist nur auf eine einmalige Umdrehung. Ost- und Westsibirien verhalten sich gegensätzlich, indem dort fast nur rechts, hier fast nur links drehende Winde vorkommen. Recht klar ist die Sachlage für Nordamerika; für die Ostseite, abgesehen von Florida, gilt Doves Gesetz; für die Nordseite, abgesehen von Vancouver-Insel, erfolgt die Winddrehung gegen die Sonne. Wie ungemein stark regionale Besonderheiten sich durchsetzen können, lehrt das Beispiel der algerischen Stadt Oran, welche mitten in einem Bezirke entgegengesetzten Umdrehungssinnes liegt. Mittel- und Westeuropa nehmen auch insofern eine Sonderstellung ein [98], als daselbst während der kalten Jahreszeit die Häufigkeitsmaxima der Windrichtungen mit dem Uhrzeiger, während der warmen Jahreszeit gegen denselben umgehen.

Mit Hilfe seines Klinoanemometers (S. 72) hat Dechevrens [99] gefunden, dass die Neigung, unter welcher die Luftströmungen den Boden treffen, in der Nähe der Wendekreise — vielleicht aber auch anderwärts — gleichfalls eine tägliche Periode besitzt. Zweimal am Tage tritt ein Maximum, zweimal ein Minimum des Einfallswinkels hervor, doch ist der Verlauf der Schwankung im Sommer und Winter der entgegengesetzte.

§. 4. Zyklonen und Antizyklonen; das barische Windgesetz.

Wenn wir uns nun dazu wenden, die Gesetzmässigkeit der in den unteren Luftschichten vor sich gehenden Bewegungen kennen zu lernen, so verfahren wir dabei in Gemässheit der Entwickelung, welche unser Wissen von diesen Dingen genommen hat. Wir lassen die noch nicht spruchreife Frage offen, ob die von der neueren Meteorologie ermittelten Sätze über die Beziehungen von Windstärke und Windrichtung zum Luftdrucke sozusagen schon einen Abschluss herbeigeführt haben, oder ob es nicht unter dem Gesichtspunkte einer strengen Methodik erforderlich wäre, zuvörderst, so wie dies die Dovesche Schule anstrebte, die tellurischen Windsysteme im grossen zu erforschen und aus den so gewonnenen Einsichten die Regeln für die im Einzelfalle hervortretenden Verhältnisse abzuleiten. Thatsächlich hat die atmosphärische Physik der Neuzeit ihre grossen Fortschritte nur dem induktiven Verfahren zu danken, indem sie vom

Speziellen nach und nach zum Allgemeineren sich erhob; ähnlich soll auch an diesem Orte vorgegangen werden.

Nur indirekt, da ja zu viele weitere Kräfte noch in Betracht kommen, ist es von Interesse, den Weg eines Luftteilchens zu untersuchen, welches, nur durch einen einmaligen Anstoss in Bewegung gesetzt, auf der rotierenden Erde fortschreitet. Die so beschriebene Kurve heisst Trägheitsbahn; beschäftigt haben sich mit ihr Biehringer [100], F. Roth [101], Bruns [102] und Sprung [103], wozu dann noch die allgemeineren, im ersten Bande (S. 239 ff.) mitgeteilten Untersuchungen Baeyers [104], Ohlerts [105] und Fingers [106] hinzutreten. Nur muss man sich immer gegenwärtig halten, dass alle diese Betrachtungen allein der atmosphärischen Statik angehören, weil in Wirklichkeit kein Luftteilchen je auch nur einen Augenblick auf der Trägheitskurve verbleibt [107]. Wenn ein Körper von der Masse 1 sich auf der selbst in Achsendrehung befindlichen Erde mit der Anfangsgeschwindigkeit a bewegt, so ist, wie wir (I, S. 240) sahen, die ablenkende Kraft gleich $2a\omega \sin\varphi$, unter ω die Winkelgeschwindigkeit der Erde, unter φ die Polhöhe verstanden; diese Kraft zwingt den Körper, sich auf der Nordhalbkugel nach rechts, auf der Südhalbkugel nach links aus der anfänglichen, horizontalen Bahnrichtung heraus zu bewegen. Der Krümmungsradius der Trägheitsbahn unter gegebener geographischer Breite ist, wie Sprung durch zwei verschiedene Ueberlegungen darthut [108], unter Voraussetzung der gleichen Bezeichnung durch den Ausdruck $a : 2\omega \sin\varphi$ gegeben.

Wir gehen jetzt dazu über, die Bedingungen aufzusuchen, unter welchen horizontale Luftbewegungen zu stande kommen können. Es wird sich zeigen, dass die einfachste und immer wiederkehrende Erklärung der Auslösung einer solchen Bewegung in dem Vorhandensein von Temperaturungleichheiten gelegen ist. Damit wollen wir uns denn also auch einstweilen ausschliesslich beschäftigen, indem wir andere Modalitäten einer späteren Erörterung vorbehalten.

Mit Sprung [109] fassen wir ein im Gleichgewichte befindliches sehr kleines Luftquantum von der Masse m ins Auge, welches etwa eine parallelepipedische Gestalt besitzen möge. Auf dessen Schwerpunkt wirkt, wenn wir von den in Kap. IV behandelten elektrischen Kräften gänzlich absehen, einerseits die Schwerkraft nach unten, und andererseits begegnen sich in ihm die sechs Spannkräfte, durch welche die umgebende Luft, deren Druck sich nach allen Seiten gleichmässig fortpflanzt, auf die sechs Seitenflächen jenes Parallelepipedums wirkt. Bezeichnen wir diejenigen beiden Spannkräfte, welche resp. in der Richtung des Erdhalbmessers wirken, mit p_1 und p_2 ($p_1 > p_2$), die horizontalen Kräfte mit p'_1, p'_2, p''_1, p''_2, so dass immer gleiche Indizes entgegengesetzt gerichtet zu denken sind, so hat man, unter g die Beschleunigung der Schwere verstanden, die nachstehenden Gleichgewichtsbedingungen:

$$p'_1 = p'_2; \quad p''_1 = p''_2; \quad p_1 - p_2 = mg.$$

Gesetzt nun, jene Erdstelle, welche vertikal unter dem betrachteten Luftteilchen gelegen ist, erhalte irgendwie ein höheres Mass von Wärme mitgeteilt; dieselbe geht durch Leitung in die nächstanliegende Luftschicht über und teilt sich dann ebenso immer höheren Luftschichten mit. Unsere beiden ersten Bedingungsgleichungen werden dadurch nicht alteriert, aber p_1 wird jetzt, da erwärmte Luft sich ausdehnt, grösser, als es vordem war; das Luftteilchen wird gehoben, und in dem ganzen Luftprisma, dessen Basis die stärker erwärmte Erdstelle bildet, tritt eine Bewegung nach oben, eine Luftauflockerung [110], ein. Die horizontalen Kräfte haben nun nicht mehr den gleichen Widerstand zu überwinden, weil die erwärmte Luft spezifisch leichter geworden ist und nur einen minder starken Gegendruck noch zu üben vermag, während die schwerer gewordene, von oben herabsinkende äussere Luft herandrängt; es werden also von allen Seiten her horizontale Luftbewegungen entstehen, welche dem Orte der primären Luftverdünnung zustreben. Sehr lange würde diese Bewegung jedoch nicht anhalten, wenn der ursprüngliche Anlass nur ein vorübergehender wäre, weil die Reibung sich fühlbar machen müsste. Ohne Temperaturunterschiede verbliebe die Atmosphäre in ewiger Ruhe [111], allein da eben solche Unterschiede sich

unausgesetzt aus den verschiedensten Ursachen ergeben müssen, so befindet sich auch die Atmosphäre fortwährend in einem Zustande mannigfaltigster Bewegung. Häufig spricht man auch (S. 178) von einem aufsteigenden Luftstrome (courant ascendant), allein wenn man diesen bequemen und dem Grundgedanken nach auch zutreffenden Ausdruck gebraucht, darf man doch nicht daran denken, dass jedes einzelne Teilchen der betroffenen Luftmasse in kontinuierlicher Steigung begriffen sei, sondern es finden im Inneren der über dem erhitzter Areale sich erhebenden Säule auf- und absteigende Bewegungen im bunten Wechsel statt, indem nur ersteren der Vorrang zukommt.

Im folgenden wird angenommen, die Wärmezufuhr sei eine stetige; dann bildet sich eine stationäre Bewegung heraus, dadurch gekennzeichnet, dass, wenn wir uns in jedem Punkte die Geschwindigkeit durch eine Strecke dargestellt und diese als Diagonale eines irgendwie gestalteten rechtwinkligen Parallelepipedums denken, jede Seite oder Komponente unabhängig von der Zeit wird [112]. Der Bewegungszustand ist also immer der gleiche.

Wir wollen momentan annehmen, die Erde besitze keine Rotationsbewegung, und wollen für diesen Fall die Vorgänge innerhalb der bewegten Luftmasse erkunden. In der Horizontalebene denken wir uns das System der Isobaren (S. 181) verzeichnet, und da konstatieren wir sofort, indem wir uns an das Abfliessen des Wassers längs des kürzesten Weges erinnern (I., S. 314), die Wahrheit folgenden Satzes: Die Luft strömt stets von einer Isobare höheren Druckes zu einer Isobare niedrigeren Druckes längs der alle Kurven der ersteren Schar senkrecht schneidenden Kurve, und zwar ist die Strömungsgeschwindigkeit eine um so grössere, je kleiner das zwischen zwei benachbarten Isobaren gelegene Stück der orthogonalen Trajektorie ist. Nach Supan ist diese fundamentale, aus den Prinzipien der theoretischen Physik ohne weiteres hervorgehende Wahrheit mit voller Bestimmtheit zuerst von Stevenson ausgesprochen worden.

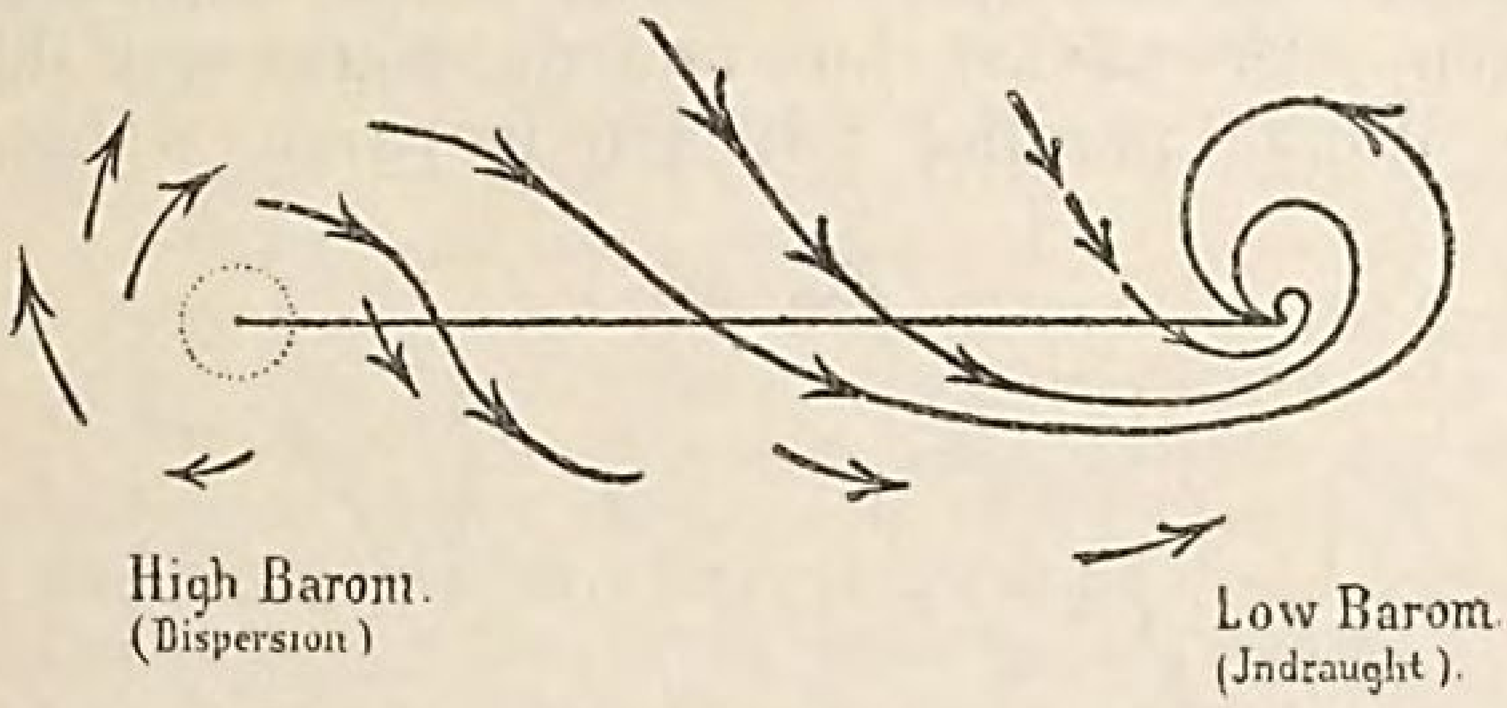
In der obigen Formulierung würde das Gesetz noch nicht geeignet sein, auf dasselbe eine metrische Bestimmung zu gründen. Dies wird erreicht durch Einführung des Begriffes Gradient (gradior, ich schreite), der als Zahlwert künftig durch Γ angedeutet sein möge. Wir grenzen auf der gerade in Betracht gezogenen rechtwinkligen Schnittlinie eine Länge von 111 km (gleich einem Aequatorgrade, I, S. 158) ab und setzen fest: Der Gradient beträgt dann c mm, wenn die Luftdruckdifferenz zwischen den beiden Endpunkten des abgegrenzten Gradientenstückes durch eine Differenz der entsprechenden Barometerstände von c mm gegeben ist. Dabei ward vorausgesetzt, dass jeder Barometerstand bereits die notwendige Korrektur in Bezug auf Normaltemperatur und Meereshöhe (S. 62) erfahren hat. Gemeiniglich wird das Wort Gradient in doppeltem Sinne, für das Mass der Luftdruckdifferenz und für die Richtung, gebraucht, welch letztere korrekter als Tangente der Gradientenkurve zu definieren wäre.

Die Thatsache, welche wir soeben konstatierten, kann durch die Erddrehung offenbar nur abgeändert, nicht aber aufgehoben werden. Es lag also nahe, die Korrektion am Stevensonschen Lehrsatze anzubringen, welche durch das Auftreten der ablenkenden Kraft $2a\omega \sin \varphi$ (I, S. 240) bedingt erscheint. Unter den Forschern, welche eine solche Erweiterung des eigentlich auch schon von Brandes (S. 179), Espy, Maury, Lloyd erkannten Gesetzes anstrebten, sind besonders Coffin [113] und Dippe [114] zu nennen, aber bis zur scharfen Fassung eines barischen Windgesetzes brachte es, wie neuerdings von Snellen [115] bemerkt wurde, doch erst der Niederländer Buys-Ballot, dessen Verdienst sowohl durch einen in deutscher Sprache veröffentlichten Aufsatz [116], als auch durch kleinere holländische Abhandlungen [117] sich ausser Zweifel setzen lässt. Indessen darf auch der Engländer Galton nicht vergessen werden, der den allgemeinen Charakter der Luftbewegung vom Orte hohen Luftdruckes gegen den Ort tiefen Druckes mit bezeichnenden Worten [118] festlegte. Von ihm ist die doppelte Bewegungsform in der Nähe der Elevation und in der Nähe der Depression klar und

bestimmt erfasst worden, so wie dies ein Blick auf Fig. 40, die nach Galton gezeichnet ist, beweisen kann.

Das barische Windgesetz, welches vielfach auch den Namen Buys-Ballotsches Gesetz führt, hat erst nach und nach die Fassung, welche man ihm gegenwärtig gibt, erhalten; über die einzelnen Stadien des Ausdruckes, welche jeweils auch Stadien der Erkenntnis bedeuten, gibt van Bebber [119] guten Aufschluss. Am einfachsten spricht man dasselbe wohl, im Anschlusse an Fig. 41, folgendermassen aus: Die

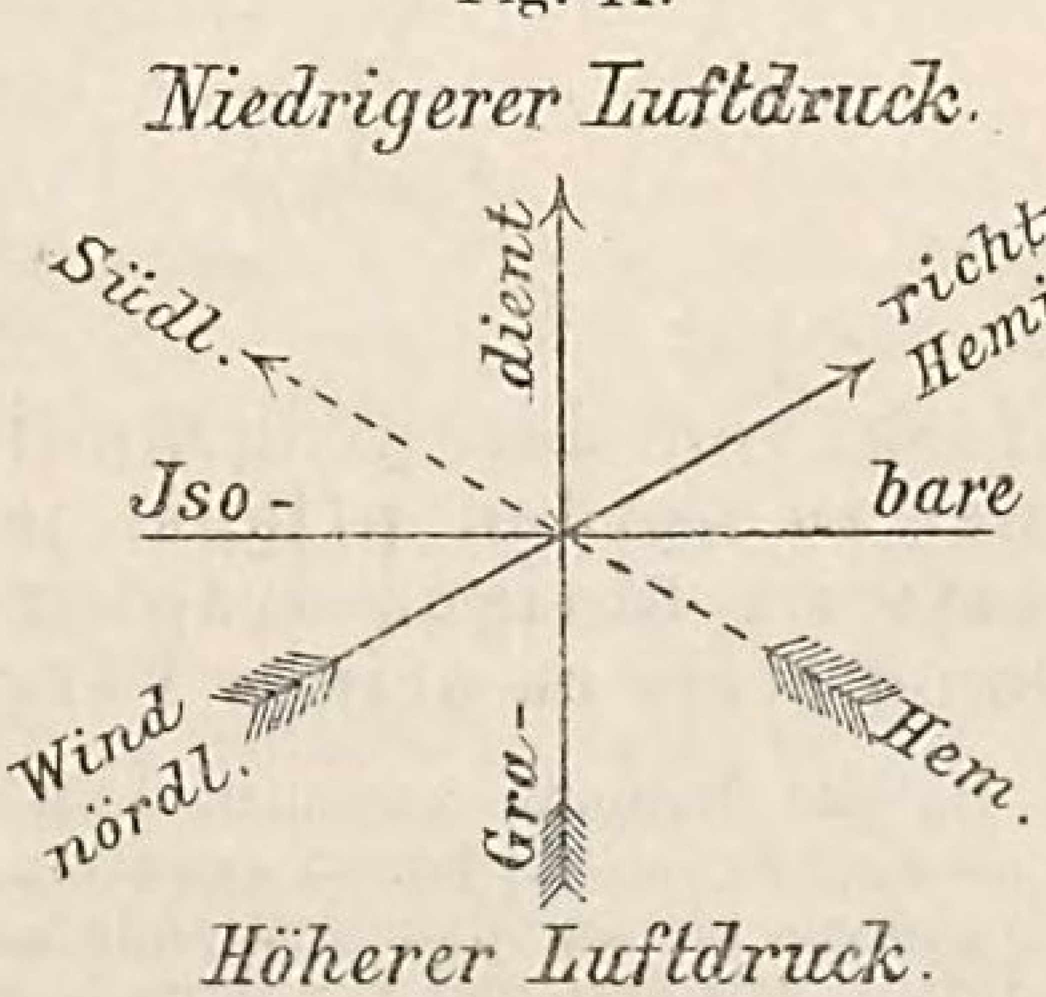
Fig. 40.



Luft strömt im allgemeinen aus der Umgebung eines barometrischen Maximums (S. 182) nach dem nächsten Minimum hin, indem zugleich auf der nördlichen Hemisphäre eine Ablenkung nach rechts, auf der südlichen nach links eintritt. Die Luftbewegung nächst dem Gebiete niedrigsten Druckes ist zyklonal (κυκλεῖσθαι, sich im Kreise herumdrehen), die Luftbewegung im Gebiete hohen Druckes ist antizyklonal. Damit ist auch gesagt, was es mit einer Zyklone und Antizyklone für eine Bewandtnis habe.

Ein Bewohner unserer Halbkugel findet den ungefähren Ort des massgebenden Maximums und Minimums empirisch in folgender Weise. Er stellt sich so, dass er den herrschenden Wind gerade im Rücken hat, streckt dann die rechte Hand etwas nach rückwärts, die linke Hand ebenso nach vorwärts aus; und dann kehrt sich die erstere gegen die Stelle der grössten Elevation, die letztere gegen die Stelle der grössten Depression. — Die Luftbahnen in der Umgebung dieser ausgezeichneten Punkte sucht Fig. 42 klarzustellen. Offenbar kann das Minimum nicht von den bewegten Luftteilchen wirklich erreicht werden; es ist dasselbe vielmehr ein unerreichbarer Punkt, um welchen herum die einzelnen Teilchen spiralige, richtiger loxodromische Wege (I, S. 298) beschreiben. — Die detaillierte theoretische Begründung des barischen Windgesetzes, wie wir sie von Sprung [120] besitzen, fasst die einzelnen hier erwähnten Momente einheitlich zusammen.

Fig. 41.

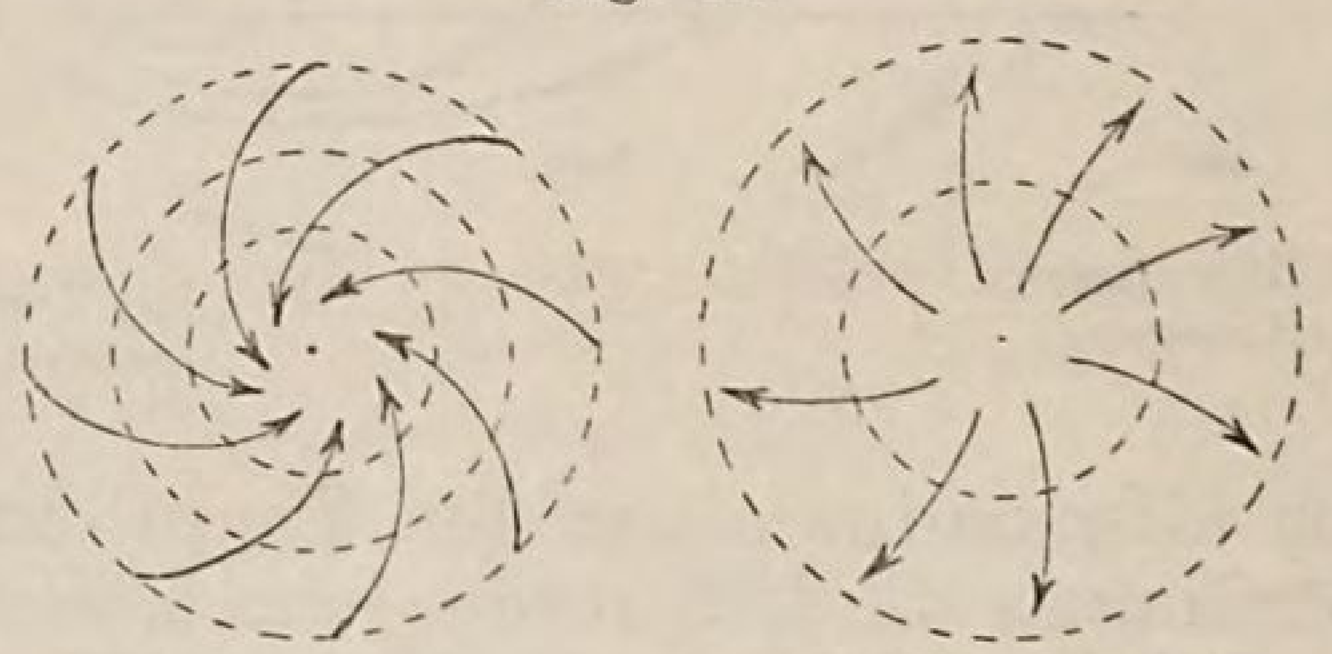


Die Winde, welche wir so gewissermassen unter dem Bilde zweier Normalformen betrachteten, wehen nicht im strengsten Wortsinne horizontal (S. 72). Von den vertikalen Komponenten glaubt jedoch Sprung [121] absehen zu können, weil sie gegen die horizontalen zumeist nur ganz klein ausfielen. Ekholm [122] hält dafür, dass auch bei der Ablenkung durch die Erddrehung die vertikale Seitenkraft durchaus keine zu vernachlässigende Rolle spiele, aber

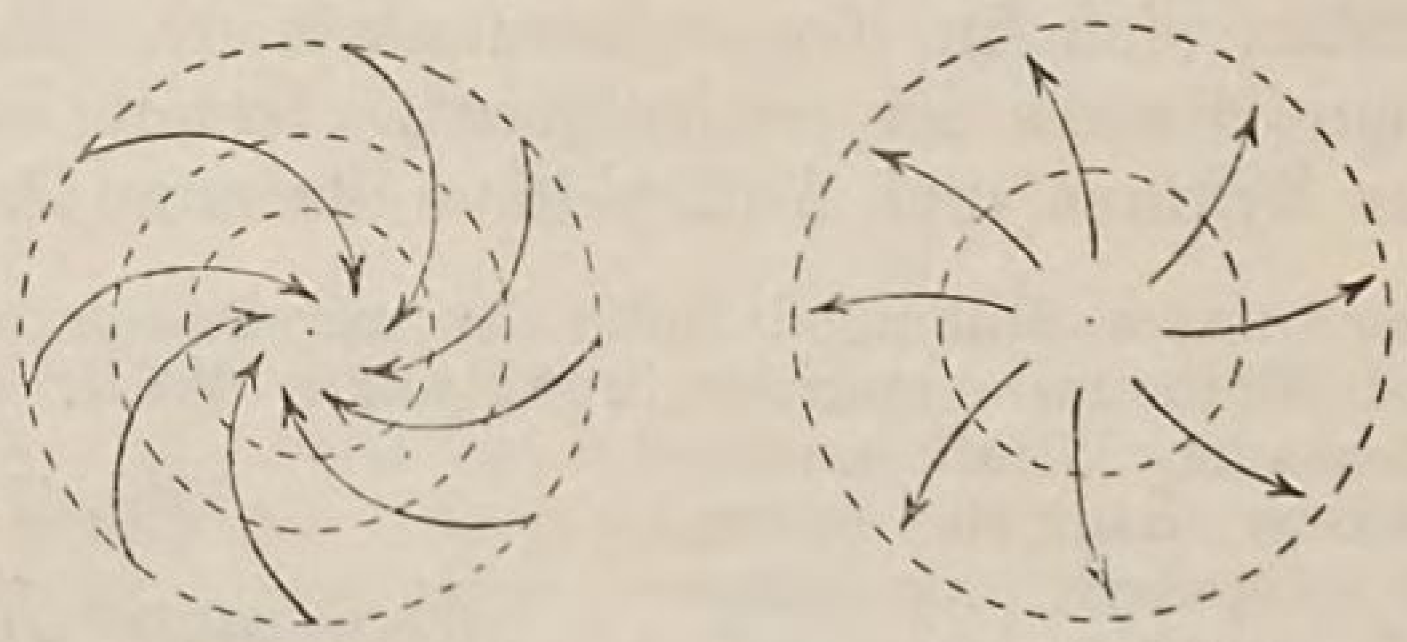
vorläufig ist es gewiss gestattet, die Untersuchung nicht durch Heranziehung auch dieser Kraft allzu sehr zu komplizieren. An und für sich aber darf nicht vergessen werden [123], dass neben den absoluten äusseren Kräften (Schwere, Druck und Reibung) und der mehrerwähnten Horizontalablenkung auch noch die senkrecht zur Erdachse wirkende Kraft $\omega^2 r \cos \varphi$ verhanden ist. Für die theoretische Lösung des Problemes, zu ermitteln, wie sich die relative Geschwindigkeit eines Luftmoleküls auf der mit Achsendrehung begabten Erde ändert, kommen noch vorzugsweise die Arbeiten von Coriolis [124] und Ferrel [125] in Frage. Eine approximative Berechnung der Geschwindigkeit im aufsteigenden Strome hat man von Linss [126], und zwar lieferte dieselbe keine ganz unbeträchtlichen Werte.

Der Ablenkungswinkel, d. h. der Winkel, welchen die augenblickliche Windrichtung mit dem Gradienten bildet, kann sehr verschiedene Werte annehmen. Er wächst hie und da sogar auf 90° an, so dass also dann die Winde parallel mit den Isobaren wehen. Er hängt

Fig. 42.



Zyklone *Antizyklone*
der nördl. Halbkugel.



Zyklone *Antizyklone.*
der südl. Halbkugel.

insofern von der geographischen Breite ab, als er um so kleiner zu werden pflegt, je mehr man sich dem Aequator nähert; im übrigen trägt auch die niemals ganz fehlende Reibung stets zu seiner Verkleinerung bei [127].

Da die Reibung zwischen Luft und Wasser gewiss eine verhältnismässig geringfügige ist, so wird man erwarten dürfen, dass auf hoher See der Ablenkungswinkel grösser als auf dem Festlande ausfällt, wie dies denn auch die Erfahrungen bestätigten. Aus dem gleichen Grunde wehen, wie van Bebbers Vergleichung [128] von Beobachtungen und Messungen an der normannischen und südenglischen Küste bezeugt, die bloss über Meer gekommenen Winde rascher, als diejenigen, welche auch bereits einen Weg über das weit mehr Gelegenheit zur Friktion darbietende Land zurückgelegt haben. Eine analytische Grundlage zur Beurteilung der einschlägigen Verhältnisse ist von Guldberg und Mohn geschaffen worden [129]. Γ soll, wie bisher, den wahren Gradienten, G die entsprechende barometrische Differenz für eine Horizontaldistanz von 111 km bedeuten; dann ist, den norwegischen Forschern zufolge, $\Gamma = \mu\, G$, $\mu = 0{,}00012237 \,.\, g_{\frac{1}{4}\pi}$. Die Reibung wird als besondere, numerisch der Geschwindigkeit v proportionale Kraft in Rechnung ge-

bracht und kann somit $= - k v$ gesetzt werden. Wenn dann noch δ die Dichte, r den Krümmungshalbmesser der Windkurve, ψ den Ablenkungswinkel, φ wiederum die Polhöhe darstellt, so bestehen diese beiden Gleichungen zusammen:

$$\frac{\mu}{\delta} G \sin \psi = 2 v \omega \sin \varphi - \frac{v^2}{r}; \quad \frac{\mu}{\delta} G \cos \psi = k v + a.$$

Unter a ist die Beschleunigung des Luftstromes zu verstehen.

Die Diskussion dieser Formeln verhilft zu manchem, teilweise zuerst unerwartetem Resultate. Sprung beweist [130], dass in sehr hohen Breiten, wenn also $\sin \varphi$ nahezu 1 geworden ist, bei einer gewissen Geschwindigkeit gar kein Gradient mehr vorhanden ist. Auch gegen den Gradienten kann unter Umständen die Luftbewegung gerichtet sein [131]; nach Blanford und Hill kommt dies in der nordindischen Ebene, wenn heisse Winde wehen, nicht so ganz selten vor [132]. Falls endlich v und a sehr gross sind, so muss auch in der zweiten Gleichung links ein relativ sehr grosser Wert stehen, und das kann nur geschehen, wenn $\cos \psi$ von 1 sich nicht viel unterscheidet. Bei Stürmen wird deshalb die Windrichtung sehr nahe mit dem Gradienten zusammenfallen, und zwar um so mehr, da G dann, wenn der Sturm einsetzt, meist nur eine mässige Grösse besitzt [133]. Die erwähnten Ausnahmefälle sind also eigentlich nur Grenzfälle, obwohl nicht etwa gesagt werden soll, das barische Windgesetz, welches ja doch nur aus Beobachtungen am Grunde des Luftmeeres abstrahiert ist, müsse durch die ganze Atmosphäre hindurch uneingeschränkt gelten. Aus den Beobachtungen von Ley und Hildebrandsson lässt sich beispielsweise schliessen [134], dass an der Rückseite einer Zyklone die obere Strömung gewöhnlich eine auf dem Gradienten senkrecht verlaufende Richtung einhält.

Ehe wir von den Windbahnen einstweiligen Abschied nehmen, wollen wir dessen gedenken, dass man gewisse Hauptsätze über die Ablenkung auch durch einen einfachen Versuch veranschaulichen kann. Ehrenburg hat [135] einen drehbaren Globus so aptiert, dass durch ausströmenden Sand sich auf der Globusfläche die Trägheitskurve, auf die es ja zunächst ankommt, selbst aufzeichnet.

Die nächst zu beantwortende Frage wird die sein: Kommt dem Areale, innerhalb dessen zyklonale oder antizyklonale Bewegung vorherrscht, gewöhnlich eine gewisse regelmässige Begrenzung zu? In aller Strenge lässt sich dergleichen nicht behaupten, indessen werden wir doch bald sehen, dass wirklich gewisse Formen von geometrischer Regelmässigkeit recht häufig vorkommen. Damit ist denn auch eine zweite Frage nahe gelegt, nämlich die, wie sich zyklonale und antizyklonale Gebiete gegeneinander abgrenzen. Auch in diesem Falle ist eine erschöpfende Antwort nicht möglich, wohl aber lässt sich der Uebergang aus dem einen Bereiche in das andere mit einer gewissen Sicherheit verfolgen.

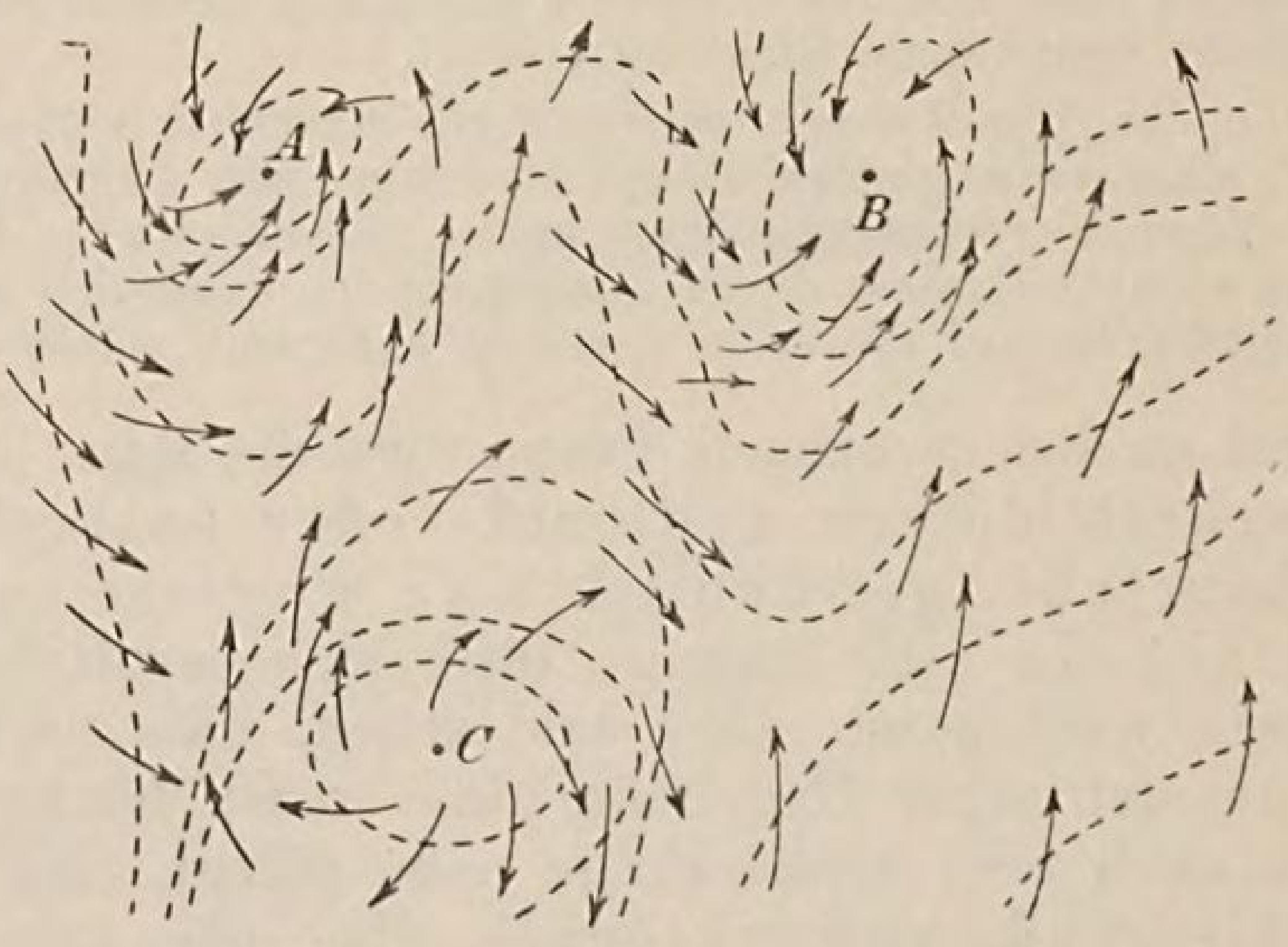
Als Normalform einer Zyklone kann die elliptische gelten. Wenn man als kreisähnlich noch alle diejenigen Ellipsen betrachtet, für welche das Verhältnis von grosser zu kleiner Achse $\lesseqgtr 3:2$ ist, so sind z. B. von Kassner [136] für einen fünfjährigen Zeitraum 91 kreisähnliche Zyklonen vermerkt worden. Nach Loomis [137] wäre das Verhältnis 1,9 : 1 das zumeist vorkommende (in Europa nach van Bebber 1,8 : 1). Zu den Zyklonen und Antizyklonen, welch letztere ihre Benennung von Galton (S. 191) empfangen haben, möchte Davis [138] noch die Perizyklonen hinzugefügt wissen, d. h. ringförmige Gebiete hohen Druckes. Jedenfalls übt die Oertlichkeit einen starken Einfluss auf die gestaltlichen Verhältnisse aus. So nehmen, wie Knipping berichtet [139], die Zyklonen gerade in der sturmreichen chinesisch-japanischen See gerne die reine Kreisform an, was wieder mit der — in §. 12 zu besprechenden — Gestalt der Sturmbahnen zusammenhängt. Der Grenzbezirk zwischen einer Aera hohen und einer solchen tiefen Druckes lässt sich in der nach Köppen [140] gefertigten Fig. 43 überblicken. Dieselbe passt sich sowohl der Nord- als auch der Südhalbkugel an, je nachdem man annimmt, dass man es mit Unter- oder Oberwind zu thun habe. Im ersteren Falle sind A und B Minima, während C ein Maximum ist; im zweiten Falle steht

um A und B das Barometer hoch, um C dagegen tief. Die trennenden Buchten zwischen den Bezirken und die Windrichtungen sind sofort kenntlich.

Kaum bedarf es der Erwähnung, dass unsere obigen Angaben über die Luftbewegungen in Depressions- und Elevationsgebieten nur einen schematischen Charakter an sich tragen. Die mathematische Theorie vermag diese Angaben erheblich zu verfeinern, freilich aber wieder nur dann, wenn spezielle Isobarenformen zu Grunde gelegt werden. So studierte v. Bezold [141] die zentrierte Zyklone, d. h. ein System konzentrischer Isobarenkreise um eine vertikale Achse herum, und De Marchi [142] stellte, mit Vernachlässigung der Vertikalbewegungen, eine Gleichung zwischen Temperatur- und Druckgradienten in der Zyklone auf. Dieselbe Grundannahme, wie v. Bezold, machte Pockels [143] für die Antizyklonen, deren Bildung er ganz unabhängig von jener der Zyklonen voraussetzte, und es wurde ihm möglich, für die Windgeschwindigkeit und den Ablenkungswinkel geschlossene Ausdrücke aufzustellen. Die Theorie von Pockels versuchte Oekinghaus [144] als Konsequenz einer selbständigen Hypothese über Zyklonalbewegung nachzuweisen.

Von dem Auftreten der Maxima und Minima in der Luft zeigt sich das Wetter abhängig. Bezüglich der letzteren war das von jeher bekannt und allgemein zugestanden; die Bedeutung der Maxima hat erst die neueste Zeit richtig gewürdigt, hauptsächlich unter der Ein-

Fig. 43.



wirkung der Bemühungen van Bebbers [145]. Nicht minder hat unsere Auffassung der Temperaturverhältnisse in den Gebieten zyklonaler und antizyklonaler Bewegung neuerdings eine tiefgehende Aenderung sich gefallen lassen müssen.

Ueber die Art und Weise, wie sich, wenn ein Minimum sich über einen Landstrich hinbewegt, vor und nach dessen Ankunft die Witterung verschieden verhält, wollen wir uns erst in §. 11 des näheren äussern. So viel ist nach Leyst [146] zweifellos, dass der Gang sämtlicher meteorologischer Elemente stark differiert, je nachdem der Beobachtungstag unter der Herrschaft einer Elevation oder Depression steht. Die Zyklonen erscheinen mehr in maritimem, die Antizyklonen mehr in kontinentalem Gepräge. Am offenkundigsten ist der Gegensatz im Gange der Bewölkung. Irrig wäre es, zu glauben, hoher Druck verhindere überhaupt die Ansammlung von Wolken. Speziell in Deutschland ist [147], wenn ein Ort sehr hohen Barometerstand aufweist, die Neigung zur Wolkenbildung im Frühjahr und Sommer allerdings nur ziemlich gering, aber im Herbst und Winter wird sie desto grösser. — Absolute Maximal- und Minimalpunkte, für welche der Barometerstand besonders extrem sich stellt, brauchen nicht notwendig zu existieren, wohl aber gibt es nach Vettins durch das Experiment bestätigten Be-

obachtungen [148] in jeder Zyklone und Antizyklone eine Stelle besonders intensiven Ein- und Ausströmens.

Es lässt sich nicht leugnen, dass klare, kühle Luft gar oft eine Begleiterscheinung der Maxima, trübe und feuchtwarme Luft eine Begleiterscheinung der Minima ist. Daraus darf jedoch keineswegs gefolgert werden, es herrsche durchweg im Depressionsgebiete eine höhere Temperatur, als im Elevationsgebiete. Wenn wir diesen Sachverhalt jetzt kennen und richtig zu deuten verstehen, so danken wir das wesentlich den zwei Jahrzehnte und mehr zurückreichenden Forschungen Hanns. Während einer sehr zählebigen Maximumherrschaft im Winter 1876 hatte er derartige Wahrnehmungen gemacht [149], für deren allgemeinere Gültigkeit dann auch bald die Mitteilungen von Dechevrens [150] sprachen, nach denen in der kalten Jahreszeit überhaupt das Innere eines hoch gelegenen Antizyklonalgebietes — infolge der regelmässig sich einstellenden Temperaturumkehr (S. 180) — verhältnismässig sehr warm ist, während freilich im Sommer ein anderer Sachverhalt zu bemerken ist. Seine früheren Ergebnisse verwandte später Hann dazu [151], aufklärend in eine Kontroverse zwischen den amerikanischen Meteorologen Davis und Hazen einzugreifen, und nachdem da und dort der alpine Beobachtungsdienst (S. 83) organisiert war, konnte er feststellen [152], dass man auf dem amerikanischen Pikes Peak ebenso wie in Europa auf dem Pic du Midi und Sonnblick die Thatsache erkannt habe: Sehr extreme Kältegrade sind nicht an ein barometrisches Maximum gebunden, sondern treten mit Vorliebe im Bereiche seichter Depressionen auf, an deren nordwestlicher Seite eine hohe Elevation lagert. Physikalisch ist dies mit Trabert [153] in der Weise zu erklären, dass in den Antizyklonen die Luft durch das Aufsteigen erwärmt, in den Zyklonen durch das Herabsinken abgekühlt wird, und dass nur durch das seitliche Ausströmen, in welches die niedersteigende Bewegung ganz übergeht, jene relativ niedrige Temperatur zu stande kommt, welche zu der früheren irrigen Auffassung den Anstoss gegeben hatte. Damit steht noch ein weiterer und wichtiger Schluss in enger Verbindung: Maxima sind Luftanhäufungen, Minima kennzeichnen ein Luftdefizit. Hiemit sind wir wieder an einer schon oben (S. 188) gestreifte prinzipielle Frage herangekommen. Wir haben es, im Einklange mit den vorherrschenden Anschauungen, so dargestellt, als sei die Luftdruckverteilung nur eine Folge und Funktion der gegebenen Wärmeverteilung auf der Erdoberfläche; es können jedoch umgekehrt auch hohe und tiefe Temperatur die Folge und nicht die Ursache der Luftdruckverteilung sein, so wie dies eben durch die Beobachtungen in höheren Luftregionen wahrscheinlich gemacht wird. Die Lösung des hiemit angedeuteten Dilemmas wird für die dynamische Meteorologie noch eine ihrer wichtigsten Pflichten werden.

Wie dem auch sei, soviel dürfte feststehen, dass die atmosphärischen Bewegungen, seltene Ausnahmefälle (S. 193) abgerechnet, durchweg in die Klasse der Wirbelbewegungen gehören. Zwischen dem sanft säuselnden Zephyr und den Orkanen der Tropenzone waltet nur ein qualitativer Unterschied hinsichtlich des Masses der Bewegungsenergie ob, aber kein grundsätzlicher Gegensatz. Gleichwohl wird bei den Winden der gemässigten Erdgürtel doch immer von einer bestimmten Richtung gesprochen werden dürfen, wiewohl man sehr gut weiss, dass dieselbe nicht eigentlich konstant ist.

§. 5. **Land- und Seewinde, Berg- und Thalwinde.** Es wird sich verlohnen, die allgemeinen Thatsachen, mit welchen uns der vorige Paragraph bekannt gemacht hat, durch einige spezielle Beispiele örtlicher Luftbewegung näher zu erläutern. Der Anfang soll gemacht werden mit den gar häufig an der Meeresküste, und auch am Ufer von Binnenseen, mit grosser Regelmässigkeit eintretenden Land- und Seewinden. Bei Tage weht die Luft vom Meere gegen das Land, bei Nacht hat die in umgekehrter Richtung wehende Land-

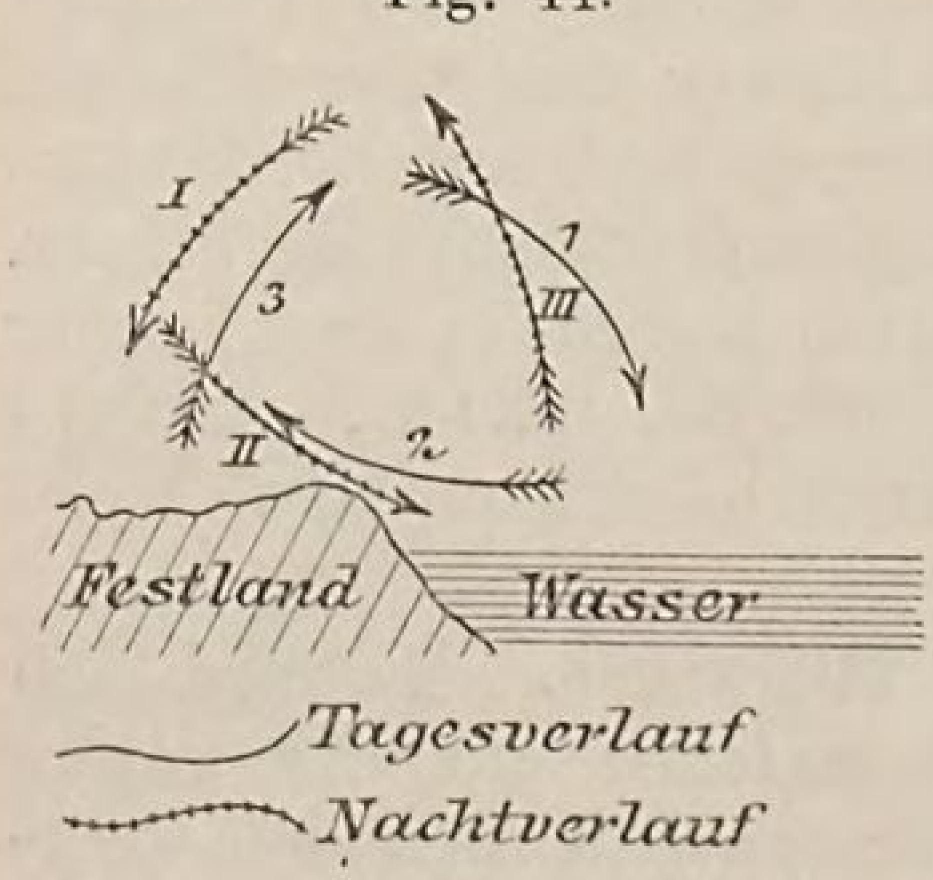
brise die Oberhand, und zwischen die Zeiten der Herrschaft der einen und der anderen Brise schiebt sich ein kürzerer Zeitraum fast vollständigen Abflauens ein.

Das klassische Gebiet dieser alternierenden Winde ist der griechische Archipelagus, von dessen meteorologischem Charakter Partsch [154] uns eine vortreffliche Schilderung gegeben hat. Der Fischer der Kykladen und Sporaden lässt sich ruhig durch den Tagwind weit in die offene See hinaustreiben, wohl wissend, dass der Nachtwind ihn wieder nach seiner Insel zurückbringen werde. Auf scharfer Berechnung der Zeitverhältnisse beruhte des Themistokles wohl durchdachter Plan zur Einsperrung der persischen Flotte in der Enge von Salamis, wie dies Herodot erzählt und, hierin dem Anaxagoras folgend, auch ganz verständig erklärt [155]. Aus neuerer Zeit rührt dann die korrekte Darlegung der bezüglichen Verhältnisse bei Dampier her [156]. In niedrigeren Breiten fehlen solche Winde in keiner Jahreszeit,, während weiter polwärts im Winter die Erscheinung zurücktritt [157]. Aus den systematisch durchgeführten Untersuchungen [158] der New England Meteorological Society folgt, dass im nordöstlichen Nordamerika die Seewinde etwa 30 bis 40 km ins Land hinein wehen, indem nur natürlich die Zeit, während sie sich geltend machen, mit wachsender Küstenentfernung abnimmt. An tropischen Küsten ist der abkühlende und die Feuchtigkeit vermehrende Einfluss der Seewinde, wie Bigourdans [159] senegambische Aufzeichnungen darthun, ein sehr merklicher. Die Intensität des Landwindes ist durchaus eine weit geringere. — Einen sehr beweiskräftigen Beleg für das Binnenland bringt Forel bei [160], indem am Genfer-See der Nachtwind Morget und der Tagwind Rebat als echte Land- und Seewinde zu betrachten sind, deren Wechselspiel allerdings mitunter durch die konkurrierenden Einflüsse von Berg- und Thalwinden getrübt werden.

Den bekannten Umstand (S. 12), dass dem Wasser eine namhaftere Wärmekapazität als dem Festlande eigen ist, brachte man schon frühe mit dem hier vorliegenden Phänomene in Verbindung. Da bei Tage über dem Lande, bei Nacht über der Wasserfläche mehr Neigung zur Luftauflockerung vorhanden ist, so liess die übliche, etwas schematische Erklärung jeweils die Luft vom Meere zum Lande oder vom Lande zum Meere abströmen infolge einer Aspirationswirkung am Fusse des aufsteigenden Luftstromes. Die unerlässliche Annahme, dass jeder längs des Bodens sich vollziehenden Bewegung eine entgegengesetzt gerichtete Bewegung in den oberen Schichten der Atmosphäre entsprechen müsse, findet in den Beobachtungen ihre Bestätigung. Neuerdings hat Seemann [161] unser Wissen von diesen Winden in umfassender Verarbeitung des Materiales übersichtlich dargestellt, und Hann [162] änderte die obige Erklärung des Vorganges so um, wie es das fortgeschrittene Wissen der Gegenwart verlangt.

Nicht die Seebrise darf, nachdem die Erwärmung der Erdoberfläche durch die emporsteigende Sonne begonnen hat, als das primäre angesehen werden, sondern zuerst fliesst in der Höhe die erwärmte Landluft gegen das Meer hin ab, wodurch über diesem eine Luftdruckvermehrung platzgreift. Ihr entspricht über dem Lande eine Druckabnahme, und so ist die Entstehung einer landwärts gerichteten Kompensationsströmung zur Notwendigkeit geworden. Ebenso strömt nach Sonnenuntergang die obere Luft zunächst vom Meere gegen das Land hin ab, und der so sich dort herausbildende stärkere Luftdruck erzeugt einen gegen das Meer hin gerichteten Wind. Die in Fig. 44 sich darstellende Zeichnung versinnlicht also das Wesen dieses alternierenden Lufttausches vollkommen richtig, wenn man nur daran festhält, dass die Oberwinde zuerst einsetzen, und dass die von uns gefühlten Unterwinde eine einfache Konsequenz der ersteren sind. Die den Winden

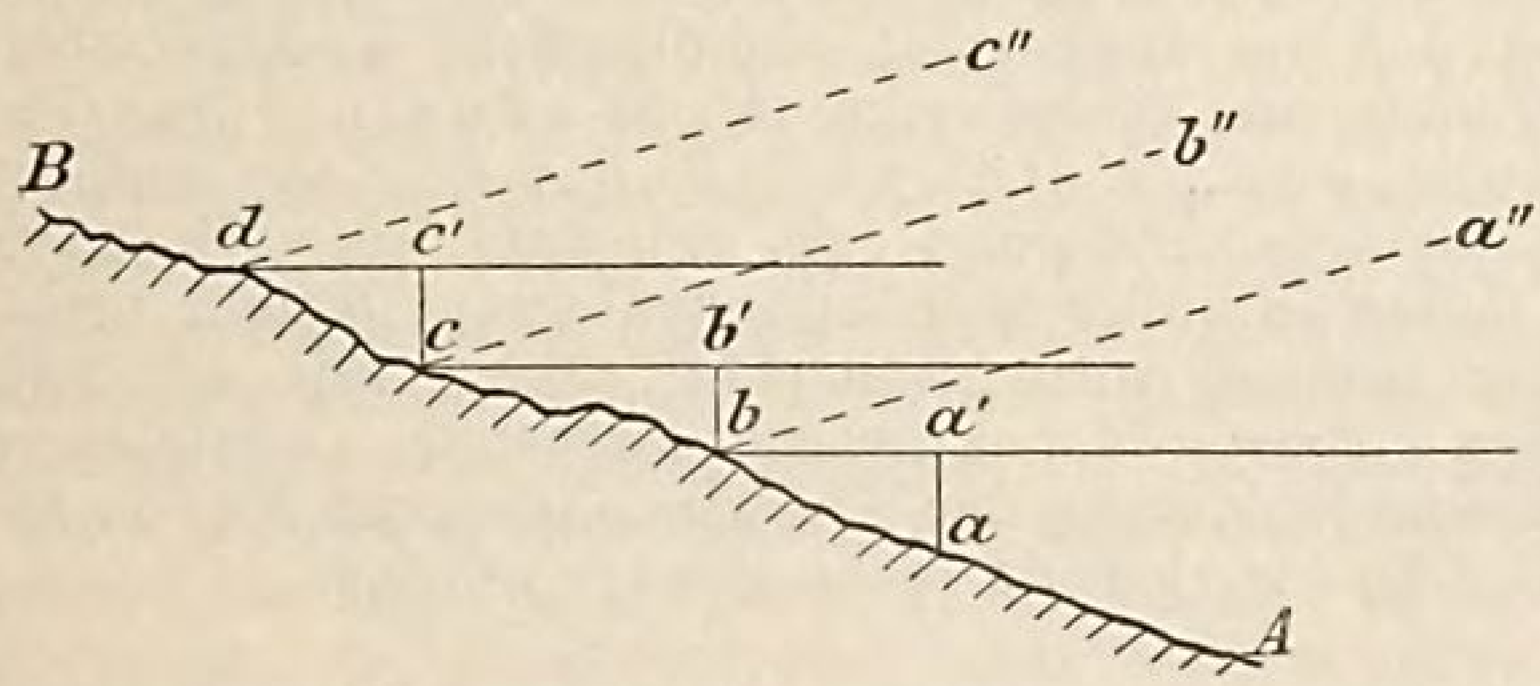
Fig. 44.



entsprechenden Luftdruckunterschiede sind übrigens nach Blanfords Feststellungen [163] überaus geringfügig.

Manche Aehnlichkeit weisen mit den soeben erörterten Winden die — auch bereits vorübergehend genannten — Berg- und Thalwinde auf [164]. Der wechselnde Verlauf ist der gleiche, die Periode ebenfalls durch die Aufeinanderfolge von Tag und Nacht bestimmt. So ziemlich in allen Gebirgsländern weht von Morgen an der Wind thalaufwärts, bis gegen Abend Windstille eintritt, und dieser folgt die Nacht hindurch eine thalabwärts gerichtete Luftströmung. Nicht ohne Grund legt der Bergbewohner einer Unterbrechung dieser Regelmässigkeit prognostische Bedeutung bei, indem eben damit eine einschneidende Aenderung der Wetterlage wahrscheinlich wird. „Bei Reisen in solchen Gebirgen," sagt v. Richthofen [165], „welche, wie die Alpen und die Karpaten, häufigem Witterungswechsel unterworfen sind, bietet sich dem Reisenden in den Erscheinungen von Berg- und Thalwind ein selten trügendes Wetterzeichen." Wer sich die Mühe gibt, im Gebirge die Lokalbenennungen der Winde zu sammeln, wird finden, dass sie zumeist in einer gewissen Beziehung zu dem allgemeinen Windwechsel stehen. Hieher gehört der Ober- und Unterwind an manchen oberösterreichischen Seen, der Viechtauer Wind am Traun-See, der Erler Wind in der Innthalenge des Gebirgsdurchbruches, der Thalwind im elsässischen Münsterthale, der gegen das Rhônethal hin wehende Pontias [166] und auch der durch J. Bergers schöne Arbeit [167] bekannte Wisperwind am Mittelrhein. Berger stellte fest, dass in dem nächst Lorch gegen den Rhein sich öffnenden Thale auch immer der reguläre Thalwind weht, der nur, als minder stark, von den Leuten nicht besonders

Fig. 45.



beachtet wird, und bei trübem Wetter macht auch der Nachtwind nicht viel von sich reden. Umsomehr aber thut dies der Nachtwind bei klarem Wetter; brausend stürmt er aus dem gewundenen schluchtartigen Thale hervor, in welchem stets eine recht niedrige Temperatur herrscht, und bringt dann den Weinbergen oftmals den tödtlichen Frost.

Tiefere Studien über diese Form der Tag- und Nachtwinde hat zuerst Fournet angestellt [168], der dieselben richtig dahin kennzeichnete, dass während des Tages partielle aufsteigende Bewegungen, während der Nacht laterale Kaskaden im Gange seien. Diesen Grundgedanken führt Hann [169] weiter aus, dessen Erklärung wir im folgenden wiedergeben.

An verschiedenen Punkten a, b, c, d des Bergabhanges A B (Fig. 45) seien die horizontalen Geraden gezogen, welche für die Zeit der Windstille den Durchschnitt der Papierebene mit den horizontalen Isobarenflächen anzeigen sollen. Noch ist keine Veranlassung zu einer Bewegung innerhalb der Luft gegeben. Die steigende Sonne erwärmt nun die atmosphärische Schicht zwischen den durch a und b gelegten Horizontalebenen; diese Schicht dehnt sich aus, und wenn wir uns jetzt von a auf die nächste Ebene die Senkrechte a a′ gefällt denken, so steht in a′ das Barometer höher als in b, so dass die Fläche gleichen Luftdruckes in die geneigte Lage b a″ kommt. Etwas später vollzieht sich, wenn wir auch die Lote b b′ und c c′ ziehen, ein gleiches auch

mit cb′ und dc′, so dass die Isobaren nunmehr durch die Linien cb″ und dc″ charakterisiert erscheinen. Die Luft erhält so ein Gefälle gegen den Bergabhang hin. „So kann man sagen, dass das Gebirge bei Tage saugend auf die umgebenden Luftmassen wirkt, gleichsam wie eine lokale, stationäre Barometerdepression.“

Mit dieser Auffassung des Vorganges deckt sich auch diejenige von Chaix [170] in der Hauptsache. Das Vorhandensein eines Gradienten (S. 190), der den Wechsel von Berg- und Thalwinden veranlasst, spricht sich nach Erk [171] deutlich genug am Nordfusse der Alpen aus, sobald man die Luftdruckperiode von München mit derjenigen von Feld (bei Miesbach) vergleicht. Besonders wichtig aber möchte der Umstand sein, dass eine örtliche, anscheinend gegen die Theorie sprechende Erscheinung sich schliesslich als eine Bestätigung ersterer zu erkennen gab. Am Maloja-Passe, welcher das Oberengadin vom Bergell scheidet, findet ein reger Luftwechsel zwischen Südwest und Nordost statt, und so kommt es, dass der Regel ganz zuwider, im obersten Innthale der Wind tagüber abwärts weht. Das kann aber, wie Billwiller nachwies [172], gar nicht anders sein, denn der Pass ist eine niedrige Schwelle, eine sogenannte Thalwasserscheide (s. u. in Abt. VIII, Kap. II), und da in dem gegen den Comer-See verlaufenden Val di Bregaglia die Luft sehr warm ist, so steigt sie über das unbedeutende Hindernis empor und strömt ins Engadin ab, dort eine scheinbar anormale zeitliche Verteilung der Thal- und Bergwinde herbeiführend. In den Seitenthälern des Innthales tritt dagegen das Wechselspiel wieder in seiner Reinheit hervor. — Mit den auf- und abwärts wehenden Winden verschiebt sich auch, zumal in der feuchtwarmen Tropenzone, die Grenze der Kondensation des atmosphärischen Wasserdampfes, und dieser Verschiebung entspricht die Bildung und Veränderung der die Berggipfel einhüllenden Wolkenhauben (S. 29), wofür Hann [173] Beispiele aus Südamerika (M. Wagner), Java (Junghuhn) und Zentralafrika (Rebmann,. v. Höhnel, Scott Elliot) anführt. Die von so vielen Reisenden beklagte Erfahrung, dass sich das ideale Himálaya-Panorama von Dardjeeling nur selten in voller Reinheit offenbart, vielmehr meist nur bei Nacht dortselbst heiterer Himmel vorherrscht [174], hängt mit der intensiven Wolkenbildung zusammen, welche der aufwärts strebende Luftstrom veranlasst. Die pflanzengeographische Bedeutung der Bergwinde ist, nach Rein, schon bei früherer Gelegenheit (I, S. 380) ins richtige Licht gesetzt worden.

§. 6. **Passate und Monsune.** Auch in einzelnen Teilen der Erde ist der Wind, den man bei uns auch sprichwörtlich als das Symbol der Unbeständigkeit bezeichnet, durch ungemein grosse Regelmässigkeit ausgezeichnet. Hieher gehören vor allem die sogenannten Passatwinde; der Name weist darauf hin [175], dass die Spanier deren Wert für die Ueberfahrt („passata“) nach Amerika wohl erkannt hatten; bei den Franzosen spricht man von „vents alizés“, bei den Engländern von Handelswinden („Trade-Winds“). Innerhalb der Passatzone wehen die Winde vorherrschend aus Osten; genauer gesprochen, ist die Richtung des an der Oberfläche der Erde wehenden Windes auf der nördlichen Halbkugel mehr eine nordöstliche, auf der südlichen Halbkugel mehr eine südöstliche.

Das Passatgebiet wird polwärts annähernd begrenzt durch die Jahresisothermen (I, S. 333) von 20° oder durch den 30. Breitengrad; „es umfasst also die Hälfte der Erdoberfläche, und es ist unstreitig das einheitlichste und durch seinen Einfluss auf die konstanten Bewegungen der Meeresoberfläche wichtigste Windgebiet“ [176]. Die Grenzen der Passatwinde im Norden und Süden fallen zusammen mit einer — wenigstens auf den Meeren — allenthalben nachweisbaren Zone hohen Luftdruckes, für welche die Nautik den Namen der Rossbreiten kennt [177], der angeblich mit der Schwierigkeit, lebende Tiere zu verpflegen, zusammenhängt. Nach innen zu aber schliesst der Passatgürtel die Kalmen- (calmus, ruhig) oder Doldrumzone [178] ein — auch dieses Wort ist nicht erklärt —, ein Gebiet, innerhalb dessen der horizontale Luftgradient verschwindend

klein, die Tendenz für aufsteigende Luftströmung sehr bedeutend ist. Rechnerisch fand Pernter [179] für die Kalmenregion eine Breitenausdehnung von 8° 30′, indem längs des Parallels von ± 4° 15′ die Windrichtung am reinsten östlich ist. Ueber den freien Ozeanen, welche im Süden und Norden offen sind, entfaltet sich die Thätigkeit der Passate am freiesten, während im Inneren der Kontinente mancherlei Trübungen unausbleiblich sind. Weshalb der Indische Ozean eine Ausnahmestellung einnimmt, werden wir gleich nachher sehen.

Diejenigen Passate, welche wir bisher kennen lernten, sollten von Rechts wegen Unterpassate heissen, denn jedem solchen Winde entspricht, gerade so, wie es bei den Land- und Seewinden sich zeigte, eine ausgleichende Luftströmung von entgegengesetzter Richtung, der sogenannte Oberpassat. Durch Wolkenbeobachtungen konnte Toynbee die Existenz der Oberpassate bestimmt nachweisen [180]; an sie ist bei der Verbreitung von Vulkanstaub in entlegene Erdräume (I, S. 411, 414; II, S. 111) hauptsächlich zu denken [181]. Die Höhendimension der vom Unterpassate durchzogenen Schicht nimmt gegen die Pole hin ab, denn auf dem Kamerunpik (I, S. 400) und Cotopaxi (I, S. 411), welche beide dem Gleicher nahe liegen, weht kräftig der Ostpassat, wogegen auf dem unter 28½° n. Br. gelegenen Pico de Teyde (I, S. 408) gewöhnlich Westwind sich verspüren lässt [182]. Ein gleiches scheint auch noch für die gerade noch innerhalb der Tropenzone sich erhebenden hohen Vulkane der Sandwich-Inseln (I, S. 409) zu gelten.

Eine Theorie der Passatwinde versuchte (vgl. S. 178) zuerst Halley [183] zu geben, aber dieselbe musste schon um deswillen ungenügend ausfallen, weil auf die Rotationsablenkung nicht gebührend Rücksicht genommen war. Was Halley versäumte, holte Hadley nach, dessen trotz mancher Mängel doch bedeutende Abhandlung uns durch Hellmanns Mühewaltung bequem zugänglich gemacht worden ist [184]; in den Vorbemerkungen wird auch erörtert, mit welchem Rechte etwa D'Acosta (I, S. 13) und Varenius (I, S. 16) als Vorläufer der beiden Engländer zu betrachten wären. Nicht minder ist auch (s. S. 179) Kants geistvoller Essay „Ein Gesetz der Passatwinde aus der Umdrehung der Erde" zu nennen, welches sich in seinen nachgelassenen Papieren fand [185], nachdem Kant schon früher („Einige Anmerkungen zur Erläuterung der Theorie der Winde") auffallend richtige Gedanken ausgesprochen hatte [186]; er fehlte nur insofern, als er, den Nord- und Südost nach dem Satze vom Kräfteparallelogramm zu einer Resultierenden zusammensetzend und mit dem Wesen der Kalmen nicht vertraut, für den Aequator einen konstanten Ostwind stipulierte. Im XIX. Jahrhundert suchte man dann, wie wir wissen, dem Gesetze der Passatbewegung auch die gemässigten Gürtel beider Erdhälften zu unterwerfen, was nicht ohne künstliche und unnatürliche Erklärungen abgehen konnte, wie neben den zahlreichen Schriften Doves namentlich auch die Veröffentlichungen von Mühry [187] und Benoni [188] bekunden mögen.

Die zutreffende Deutung des Gesamtvorganges gestaltet sich etwa folgendermassen. Ueber der stark erhitzten Aequatorialgegend steigt die spezifisch leichter gewordene Luft senkrecht auf, und sie würde bei stillstehender Erde von der Höhe nach beiden Seiten polwärts abfliessen, wenn nicht die Rotation vermittelst der bekannten Kraft $2a\omega \sin\varphi$ (S. 190) auf der Nordhalbkugel nach rechts, auf der Südhalbkugel nach links den Höhenwind ablenken würde. So geht der Oberpassat, je nach der Hemisphäre, in einen Südwest und in einen Nordwest über; aber schon unter ± 25° Breite wiegt die Westrichtung so erheblich vor, dass gar nicht daran zu denken ist, dieser Oberpassat vermöge bis in südpolare Gebiete — nach Doves Meinung — vorzudringen. Die von Norden und Süden herbeiströmende Luft staut sich zwischen ± 30° und ± 35° gegen die langsam herabsteigenden Oberwinde, und damit ist die Luftanhäufung der Rossbreiten aufgeklärt. Weiter gegen den Aequator hin lösen sich Teile des Luftwulstes von diesem ab und verfallen so auch ihrerseits dem Einflusse der Erdumdrehung; der Unterpassat der nördlichen Halbkugel wird zum Nordostwind, der Unterpassat der süd-

lichen Halbkugel wird zum Südostwind. Bei der Herabsenkung der unteren Passate aus dem Maximalgürtel des Druckes erleiden dieselben eine Zusammenpressung, welche Wärme erzeugt und zugleich derart austrocknend wirkt, dass günstige Bedingungen zur Herausbildung von Steppen und Wüsten (s. u. in Abt. VIII, Kap. V) zu stande kommen.

Die Grenzen der Kalmenzone sind keine konstanten; ihre Lage hängt vielmehr vom Sonnenstande ab. Der Parallelkreis zwischen den Wendekreisen, über dem gerade die Sonne steht, wird offenbar am stärksten erhitzt, und hier spricht sich mithin der Charakter der Kalme am schärfsten aus. Ueber dem Pazifischen Ozean ist, den Untersuchungen von Kerhallet und Horsburgh zufolge [189], die Veränderlichkeit der Passatgrenzen geringer, als über dem Atlantischen Meere, und im ersteren Falle halbiert der Gleicher den Kalmengürtel ziemlich symmetrisch, während im anderen Falle die Nordhalbkugel mehr Anteil an jenem hat, als die Südhalbkugel.

Im Gebiete des Indischen Ozeanes, welcher im Norden ganz von Landmassen abgeschlossen ist, treten an die Stelle der Passate die Monsune (früher auch Moussons; vom arabischen Worte mausim, also so viel wie Jahreszeitenwinde). Am deutlichsten ausgeprägt tritt deren Wesen im Nordwesten hervor, so dass also zumal die Route Ostafrika-Indien von den Monsunen beherrscht wird. Während des nördlichen Sommers ist die Windrichtung eine dauernd südwestliche, während des südlichen Sommers eine dauernd nordöstliche.

Das Altertum hatte noch keine Veranlassung, sich mit den Halbjahrwinden abzugeben, und als Vasco da Gama glücklich den Seeweg nach Indien gefunden hatte, bereitete ihm seine Unbekanntschaft mit den zur Durchquerung des Ozeanes in der einen und anderen Richtung geeignetsten Jahreszeiten manche Ungelegenheit [190]. An die Erklärung des Windwechsels wagte sich zuerst Kant heran [191], und insoferne traf er auch das richtige, als er das von der Sommersonne erhitzte „Indostan“ als ein mächtiges Aspirationszentrum ansprach. Nachdem man zum Verständnis der Land- und Seewinde (S. 196) gelangt war, lernte man einsehen, dass sich hinsichtlich der Monsune die gleiche Theorie in Anwendung bringen lasse, indem nur an die Stelle der Tagesperiode die Jahresperiode zu treten habe. Auch würde man irren, wollte man das Indische Meer für die einzige Heimstätte des Monsuns halten; überall da, wo ein ausgedehntes Festland ans Meer stösst, entwickelt sich wegen der ungleichen Wärmekapazität des Wassers und der Erdfeste ein analoger Luftwechsel, wenngleich nicht mit der Reinheit und Grossartigkeit, wie in dem klassischen Gebiete der Erscheinung [192].

In kurzem ist also der Prozess, wie folgt, zu kennzeichnen. Infolge heftiger Erhitzung des Kontinentes tritt über diesem eine allseitige Luftauflockerung ein, und die höheren Luftschichten bekommen ein Gefälle gegen das Meer hin; die auf dem Festlande ruhende Luftsäule nimmt an Gewicht ab, während letzteres über der See zunimmt, und so muss folglich in der Tiefe die Luft gegen das Land hin abströmen. Sobald die Sonne den Aequator überschritten hat, tritt in Vorderindien — allgemein, über dem Kontinente — rasche Abkühlung ein, während das Meer die ihm mitgeteilte Wärme dauernder bewahrt, und so senken sich jetzt die oberen maritimen Schichten gegen das Land hin, während von diesem aus tiefer unten die Luft meerwärts abfliesst. Dass auch die Rechts- und Linksablenkung der Erdrotation mit eingreift, versteht sich von selbst.

Wie bei den Passaten, so müssen sich auch bei den Monsunen die antiparallelen Luftströmungen erkennen lassen, was auch nach Dallas [193] durch

Beobachtung des oberen (Cirrus-) Wolkenzuges geschehen kann. Die Verhältnisse, unter welchen sich die mit dem Einsetzen des Sommermonsuns beginnende Veränderung des Wetters in Indien vollzieht, wurden von Abercromby [194] eingehend geschildert; diese Veränderung bereitet sich lange vor, bis dann im Juli der eigentliche Wettersturz erfolgt. Im grossen und ganzen sind die Termine der Umkehr ziemlich stabil, aber es können doch Verschiebungen bis zu vier Wochen und mehr sich ergeben. So dauert nach den Feststellungen von Goldingham in Madras (Küste Koromandel) der Nordostmonsun im Mittel vom 19. Oktober bis zum 2. März, aber es variiert in Wahrheit der Zeitpunkt des Einsetzens von den letzten Tagen des September bis zu den ersten des November [195]. Ueber die Monsune des Hinterindischen Archipels und der Südsee wollen wir uns hier nicht weiter äussern, weil uns Kap. VIII diese Winde und ihre klimatischen Folgen im Zusammenhange zu betrachten nötigen wird.

Hingegen muss noch kurz von dem texanischen Monsun gesprochen werden. Harrington wies nach [196], dass im Staate Texas Sommer- und Winterwinde wehen, deren Richtung eine entgegengesetzte ist, und deren Ursache man in Druckunterschieden zu suchen hat, welche aus der mit den Jahreszeiten hervortretenden Verschiedenheit der Erwärmung von Wasser und Land sich ergeben. — Als eine Art von unvollständigem Monsun zu betrachten sind die Etesien (ἐτησίαι, scil. βορέαι oder ἄνεμοι, von ἔτος, Jahr; also wörtlich dasselbe wie Monsun), deren Demosthenes so oft in seinen gegen Philippus gehaltenen Reden gedenkt, weil während ihrer Herrschaft in den Hundstagen die Athener verhindert waren, ihren mazedonischen Pflanzstädten zu Hilfe zu kommen. Die Aspiration des erhitzten afrikanischen Kontinentes zwingt die über dem Aegäischen Meere ruhenden Luftmassen, nach Süden zu strömen; ein zugehöriger Südmonsun dagegen fehlt, weil die zur Sommerszeit sehr regelmässige Luftdruckverteilung in den kühleren Jahreszeiten einer unregelmässigen Platz macht [197]; Griechenland und das Mittelmeer stehen alsdann unter dem Einflusse verschiedener, sich gegenseitig einengender und bekämpfender Depressionsgebiete, und so fehlt dem Winter jede strengere Gesetzmässigkeit. Nur die Eisvogeltage (ἀλκυονίδες ἡμέραι) um die Zeit der Wintersonnenwende machen durch ihre Klarheit und Luftruhe eine vorteilhafte Ausnahme, welche die hellenischen Seeleute besonders hoch zu schätzen wussten.

§. 7. **Weitere Studien über horizontale Luftströmungen.** Der aufsteigende Luftstrom bildet mit den zugehörigen horizontalen Luftströmungen ein Windsystem; davon, dass man ersteren nicht als eine geschlossen nach oben bewegte Luftmasse, sondern als einen prismatischen Raum ziemlich regellosen Luftaustausches nach oben und unten sich vorzustellen habe, ist bereits (S. 190) die Rede gewesen. Die Modalitäten, welche in §. 5 und 6 der Betrachtung unterzogen wurden, gehören sämtlich hieher; Passate, Monsune, Land- und Seewinde stellen jeweils für sich ein Windsystem dar. Es leuchtet jedoch ein, dass, auch abgesehen von diesen ausgezeichneteren Formen, sich Windsysteme überall und stetig auf der Erde herausbilden können, und mit der allgemeinen Theorie dieser Systeme haben wir uns noch zu beschäftigen.

Mit den Hilfsmitteln der Analysis, natürlich aber nur unter Annahme besonders einfacher Grundbedingungen, weil sonst die Ueberwindung der rechnerischen Schwierigkeiten unmöglich geworden wäre, haben Guldberg und Mohn die Lehre von den Windsystemen behandelt [198], und Oberbeck hat die dabei erzielten wichtigeren Resultate in möglichst gemeinverständlicher Form wiedergegeben [199]. Eine wertvolle selbständige Durcharbeitung des gesamten Gebietes ist im Werke Sprungs enthalten [200]. Selbstverständlich haben wir uns hier auf einige Punkte allgemeineren Interesses zu beschränken.

Die beiden einfachsten Voraussetzungen über die Natur der Isobaren (richtiger, der für die Rechnung zunächst heranzuziehenden isobarischen Linien) sind die, dass dieselben ein System paralleler gerader Linien oder ein System konzentrischer Kreise darstellen. Auch soll noch Aequidistanz hinzutreten, so dass also die kürzesten

Entfernungen aller Isobaren, für welche der Druck in arithmetischer Progression wächst oder abnimmt, gleich gross ausfallen. Wenn k in der uns bekannten Weise (S. 193) den die Reibung charakterisierenden Erfahrungsfaktor bedeutet, während die übrigen Bezeichnungen die in diesem Kapitel schon öfters angewandten bleiben, so ist in dem erstgenannten Windsysteme die Windstärke allenthalben die gleiche; der Ablenkungswinkel ψ ist durch die Gleichung $\tang \psi = \omega v \sin \varphi : k$ gegeben. Im zweiten Falle trennt ein Kreis das innere Gebiet aufsteigender von dem äusseren Gebiete absteigender Luftbewegung. Der Druck nimmt vom achsialen Zentrum aus, für welches er Null wird, nach allen Seiten gleichförmig zu, und auch der Gradient wächst bis zum Grenzkreise hin, um dann abzunehmen und zuletzt verschwindend klein zu werden. Die Windbahnen sind logarithmische Spiralen, deren Gleichung, wenn ρ den Abstand vom Zentrum, χ den Winkel des Radiusvektors mit einer festen Richtung, b eine Konstante vorstellt, in die Form $\rho = b \log \chi$ gebracht werden kann; die Kurve wird von sämtlichen Fahrstrahlen (Gradienten) unter gleichen Winkeln geschnitten. Mit der Natur stimmt das Rechnungsergebnis deshalb nicht überein, weil für das Innen- und Aussengebiet sich Werte von ψ herausstellen, welche nicht direkt ineinander übergehen, sondern am Grenzkreise durch eine Unstetigkeitsstelle voneinander geschieden werden. Die hier ermittelte Windbahnlinie hat sogar noch eine allgemeinere Bedeutung. Wenn nämlich das Flächentheorem, wie es dem ersten der Keplerschen Gesetze (I, S. 256) entspricht, auch für die Luftbewegungen überhaupt sich gültig zeigen soll, während zugleich Erdrotation und Reibung ihre Einwirkung üben, so kann dies, wie ein von Sprung [201] aufgefundenes Theorem besagt, nur dann geschehen, wenn sich jedes Luftteilchen in einer logarithmischen Spirale bewegt.

Ueber die in den höheren Luftschichten wehenden Winde nähere Aussagen zu machen, ist die theoretische Meteorologie ausser stande; hiefür sind wir einstweilen noch auf anemometrische Beobachtungen der Bergstation und Fesselballons, sowie auf die sehr fruchtbare Verfolgung des Wolkenzuges (S. 76) angewiesen. Auf Grund der Beobachtungen von Stevenson teilt van Bebber [202] folgende Erfahrungssätze mit: Die Windgeschwindigkeit nimmt mit der Höhe zu (vgl. S. 74); für Höhen über 4 m — denn in nächster Nähe am Boden gibt es kein gesetzmässigs Verhalten der Luftströmungen — lässt sich eine Relation angeben, welche, wenn die Windgeschwindigkeit v_1 in der Höhe h_1 gegeben ist, auch die Windgeschwindigkeit v_2 in der Höhe h_2 zu berechnen gestattet. Unter c eine Erfahrungszahl verstanden, ist nämlich, wenn die Erhebung über die Erde etwa 15 m beträgt oder nicht übersteigt, $v_2 = v_1 \sqrt{(h_2 + c) : (h_1 + c)}$. In noch grösseren Höhen soll dafür die einfachere Formel $v_2 = v h_2 : h_1$ eintreten. Sehr genaue Messungen liegen auch von Vettin [203] vor. Die mittlere Geschwindigkeit des Windes nimmt bis zu einer ungefähren Höhe von 1000 m stetig zu, aber dann tritt eine Unterbrechung ein, indem innerhalb einer Schicht von etwa 1000 m vertikaler Mächtigkeit die dort besonders lebhaft vor sich gehende Wolkenbildung störend einwirkt. Alsdann nimmt die aufgehaltene Beschleunigung wieder ihren Fortgang, und in 7200 m Höhe ist das Geschwindigkeitsmittel etwa das Dreifache von dem an der Erdoberfläche. Aus Ekholms und Hagströms Beobachtungen [204] scheint zu folgen, dass die Oberwinde um die Mittagszeit besonders schwach wehen, gerade dann also, wenn die Geschwindigkeit der in der Tiefe wehenden Winde ihr Maximum erreicht.

Wir haben uns in das Wesen der Windsysteme durch Beobachtung und Rechnung Einsicht zu verschaffen gesucht und gefunden, dass allüberall in der Atmosphäre durch Ineinandergreifen von vertikalen und horizontalen Luftströmungen sich Zirkulationen bilden, deren Tendenz es ist, das irgendwie gestörte atmosphärische Gleichgewicht wieder herzustellen, und die verschwinden, wenn dieser Zweck erreicht wird. Subsidiär kann nun aber auch das in neuester Zeit eifrig gepflegte meteorologische Experiment (S. 47) uns Beistand leisten. Ebenso wie durch den bekannten Taitschen Versuch mit Tabakrauch eine anschauungsmässige Bestätigung des Helmholtzschen Lehrsatzes von der Unzerstörbarkeit der Flüssigkeitswirbel erzielt werden

konnte [205], gerade so sind Vettins Versuche, welche bei anderer Gelegenheit im Zusammenhange mit verwandten Experimentaluntersuchungen besprochen wurden [206], von hohem Werte, weil sie uns die Einzelheiten jeder Zirkulationsbewegung im Miniaturbilde zu überblicken erlauben.

Als Vettin vor geraumer Zeit mit seinen Versuchen hervortrat [207], nahm der damals noch im Vollbesitze seines wissenschaftlichen Einflusses befindliche Dove [208] schweren Anstoss daran, dass alle Bewegungen in der Atmosphäre dem Prinzipe der Wirbelbewegungen untergeordnet werden sollten; „der Weg, welchen Herr Vettin einschlägt“, meinte er [209], „würde, konsequent befolgt, dahin führen, dass ein in Stockholm geschriebenes Lehrbuch der Meteorologie in St. Petersburg unverständlich wäre“. Abgeschreckt von dieser Gegnerschaft liess Vettin seine Arbeit ruhen, bis er sie später, auf W. Köppens Anraten, von neuem aufnahm und bis in die Einzelnheiten durchführte. Die bemerkenswertesten Ergebnisse der neuen, ungleich mehr ausgereiften Experimentalstudie [210] werden nachstehend kurz registriert. Ein parallelepipedisches Gefäss ist von Glaswänden umschlossen; in die Bodenfläche kann durch einen Gummischlauch Tabakrauch eingelassen werden, der den Raum in ziemlich gleichförmiger Verteilung erfüllt. Wird dann eine Stelle des Bodenglases durch eine Flamme oder selbst nur durch die Blutwärme der Hand in höhere Temperatur versetzt, so kann man den aufsteigen-

Fig. 46.



den Luftstrom, den aspirierten Unterstrom, die horizontale Gegenströmung an der Deckfläche und den absteigenden Kompensationsstrom mit dem Auge verfolgen; der letztgenannte Strom stellt sich noch deutlicher dar, wenn eine zweite Stelle des Glasbodens durch Einreiben mit Eis abgekühlt worden ist. Der Glaskasten wird dann auf die Platte einer Rotationsmaschine gesetzt, und wenn letztere umgedreht wird, so zeigen sich auch die bekannten Ablenkungserscheinungen. In Fig. 46 ist ein Bild der von Vettin erzeugten Bewegungsvorgänge zu sehen. Um Flächenwirbel an Stelle derjenigen zu erhalten, welche durch die Ueberlegenheit der Vertikaldimension ausgezeichnet sind, bringt der Experimentator [211] unter die auf der Zentrifugalplatte stehende Glaskiste noch eine kreisförmige Blechrinne, welche mit Eisstücken gefüllt ist, und in deren Mittelpunkt die Eintrittsöffnung für den Rauch sich befindet. Dann entsteht ein Wirbel, dessen Spindel sich kelchförmig nach oben erweitert, und zwar bleibt derselbe erkennbar, so lange noch — bei fortgesetzter Drehung — die Rinne ihr Eis bewahrt. — Die Kalmenwülste, welche sich bilden, gemahnen in eigentümlicher Weise an jene merkwürdigen Strömungsgebilde (I, S. 50), welche v. Bezold, dem teilweise Reusch [212] vorangegangen war, durch Einführung von Tropfen in eine Flüssigkeit von höherem Fluiditätsgrade erhielt [213]; es vermochten Zirkulationssysteme verschiedenen Drehsinnes erzeugt zu werden, für deren Entstehung die kleinen Temperaturdifferenzen im Inneren der Flüssigkeitsmasse massgebend waren.

Auch gewisse mehr lokale — oder doch wenigstens regionale — Winde treten vielfach mit solcher Regelmässigkeit ein, dass sie ebenfalls als Teile eines geschlossenen Windsystemes gelten müssen. Viele derselben gehören jedoch derart in die klimatische Beschreibung des bezüglichen Landes hinein, dass wir auf sie besser in Kap. VIII eingehen; andere fallen ins Bereich unseres nächsten Paragraphen. Denn

es ist nunmehr an der Zeit, von der wesentlich horizontalen Luftbewegung Abschied zu nehmen und zu denjenigen Winden überzugehen, deren Richtung sehr steile Winkel mit der Horizontalebene einschliesst.

§. 8. **Fallwinde im allgemeinen.** Winde dieser Art bezeichnen wir kurzweg als Fallwinde; schon die altgriechische Sprache besass dafür [214] das treffende Wort καταιγίδες (κατά, herab; αἰγίς, Windstoss). Wir wissen ja (S. 72), dass geneigte Windrichtungen keine Seltenheit sind, und nach Montigny [215] kommen ganz horizontale Strömungen kaum je vor, allein hier handelt es sich nur um solche Fälle, in denen der vertikale oder räumliche Gradient den horizontalen beträchtlich überwiegt. Eine besondere Untersuchung hat Möller [215] diesen Gradienten gewidmet.

Denken wir uns eine distinkte Luftmasse, welche von einer nicht ganz geringen Höhe herabfällt, so wird durch diesen Akt des Fallens die Atmosphäre ringsum in Mitleidenschaft gezogen, in Bewegung gesetzt, und diejenigen, welche sich nicht allzu weit vom Fallorte entfernt befinden, haben den Eindruck, dass ein Wind wehe, ohne dass sie zunächst über die Art desselben sich völlig klar wären. Zumeist wird es sich darum handeln, dass, von irgend einem Aufsaugungszentrum getrieben, die über einem Gebirgskamme oder einem Plateau ruhig lagernde Luft von diesem herabstürzt. Indess ist auch die Möglichkeit erwogen worden, dass ein Teil der freien Luft mit einemmale in eine sich stetig beschleunigende Bewegung nach unten geriete; von der Hand ist eine solche Möglichkeit wohl kaum ganz zu weisen. So hat z. B. Davis [216] den Samum als heissen Fallwind aufgefasst, der ohne Mitwirkung eines Gebirges ausgelöst wäre, und auch v. Richthofen hält diese Entstehungsart für diskutabel [217]. In der Regel lässt sich jedoch bei den Fallwinden angeben, wo dieselben ihren Ursprung hatten.

Man unterscheidet warme und kalte Fallwinde. Von ersteren sagt man, sie entsprächen dem Föhntypus; von letzteren, sie entsprächen dem Boratypus. Was beiden Gattungen gemeinsam ist, was beide trennt, ist besonders von H. Meyer [218] sehr klar auseinandergesetzt worden.

Als Föhn (favonius?, vgl. S. 72) oder Fön, wie Schweizer Autoren das Wort schreiben, ist in der Zentralschweiz ein heisser, austrocknender Wind bekannt, den man als Norm für alle ähnlichen Winde ausersehen hat. Die Bora (slavische Lokalbezeichnung) ist zunächst der nordöstlichen Ecke des Adriatischen Meeres eigen, aber es fand sich, dass auch an vielen anderen Orten auf der Erde kühle Fallwinde von ganz verwandtem Charakter wehen. Der Gegensatz beider Typen ist nicht etwa dahin zu verstehen, dass Winde des Föhntypus absolut warm und Winde vom Boratypus absolut kalt seien, vielmehr ist der Gegensatz nur ein relativer. Darauf weist mit Bestimmtheit v. Bezold hin [219]. Aus den bekannten Diagrammen der Thermodynamik folge direkt, dass feuchte und kühle Luft, wenn sie durch Aspiration zum Ueberschreiten eines Kammes gezwungen werde, warm und trocken werden müsse, während eine von einem Hochplateau kommende Luftmasse, die ohne Hindernis zum Absturze gelange, niemals den gleichen Erwärmungszustand zu erreichen vermöge. Bis zu einem gewissen Grade erwärmen sich auch die Borawinde, wie dies nach den Gesetzen der mechanischen Wärmetheorie ja gar nicht anders sein kann. Trotzdem kann ein solcher Wind der Empfindung des Menschen und auch dem Thermometer sich als ein Kältebringer darstellen; warum, darüber orientiert eine Betrachtung von Trabert [220]. Die Masseneinheit der Luft habe zur Zeit t die Temperatur T und bewege sich abwärts mit der Geschwindigkeit u. Nach Umfluss der Zeit dt wird an Stelle jenes ersten Luftteilchens ein zweites getreten sein, welches um die Zeit t sich höher befand; die Höhendifferenz ist durch $u\,dt$ gegeben. Demselben kommt jetzt die Temperatur $(T + dT)$ zu. Ferner sei α (S. 180) die Temperaturabnahme mit der Höhe, A eine Konstante, dQ die normale Aenderung des Wärmeinhaltes

jenes Luftteilchens, c die spezifische Wärme der Luft; dann lässt sich als fundamentale Gleichung diese anschreiben:

$$c\,dT = (A - \alpha c)\,u\,dt + dQ.$$

Bei den Föhnwinden ist $(A - \alpha c)$ positiv, u ziemlich gross, dQ belanglos, also dT jedenfalls positiv. Bei nächtlichen Gebirgswinden (S. 197) und bei langsamem Absteigen der Luft ist der Quotient $dQ : dt$ negativ, $(A - \alpha c)$ sehr klein, also wird dT negativ. Wenn aber Borawinde wehen, so ist $\alpha c > A$, und da wieder dQ nicht wesentlich ins Gewicht fällt, dT abermals negativ, so dass Abkühlung eintreten muss.

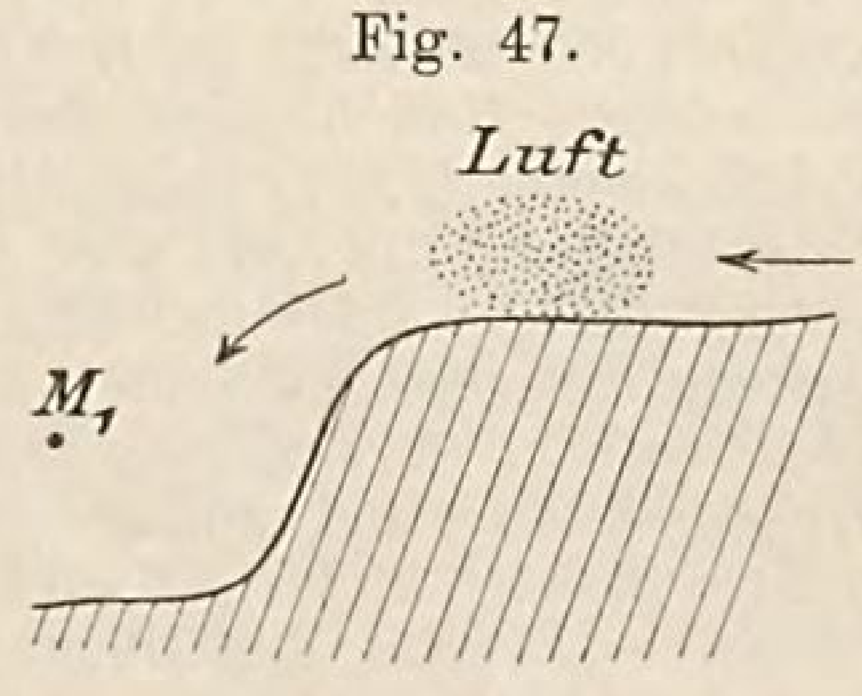
Ob ein Fallwind sich erwärmend, abkühlend oder im Sinne voller kalorischer Neutralität bethätigt, hängt in der Hauptsache von dem Gleichgewichtszustande der zu durchfallenden Luftschicht ab. Bekanntlich gibt es drei Fälle des Gleichgewichtes; dasselbe kann indifferent, stabil oder labil sein, und das Eintreten eines dieser Fälle hängt ab von der Art der Temperaturveränderung mit der Höhe. Das Kriterium ist gegeben durch einen Satz, welchen Sprung [221] in folgender Fassung ausspricht (g_φ bedeutet die Schwerebeschleunigung unter der Polhöhe φ): Für trockene Luft ist der Gleichgewichtszustand der Atmosphäre ein indifferenter, wenn die Temperatur auf 100 m um 0,993 γ Grad abnimmt, ein stabiler, wenn dieser Betrag überschritten wird. Die Grösse γ ist gleich $g_\varphi : g_{1/4\pi}$ gesetzt worden. Die Bedingungen werden etwas verwickelter, wenn die Luft mit Wasserdampf beladen — gesättigt oder nicht gesättigt — ist. Unter allen Umständen bestimmt der Gleichgewichtszustand den thermischen Charakter des Windes.

Stabilem Gleichgewichte entsprechen Fallwinde vom Föhntypus, und labilem Gleichgewichte entsprechen Fallwinde vom Boratypus. Wenn der seltene Fall indifferenten Gleichgewichtes eingetreten ist, so bringt der Fallwind weder den Eindruck von Wärme, noch auch den von Kälte hervor.

Angesichts dieses Sachverhaltes ist mithin auch ein sonst kalter Fallwind gelegentlich einmal im stande, erwärmend zu wirken, wenn eben einmal die Beschaffenheit der vertikal durchmessenen Luftsäule eine von der gewöhnlichen abweichende ist. So ist denn auch eine verlässige, wie wohl begreiflicherweise vereinzelte Beobachtung [222] über eine warme Bora vorhanden.

Nächste Veranlassung zum Entstehen eines Fallwindes gibt gewöhnlich das Vorbeiziehen einer Depression in nicht zu grosser Entfernung von dem Gebirge, auf welchem die nachher in Bewegung kommende Luftmasse aufruht. Doch ist, wie H. Meyer wohl mit Recht bemerkt [223], auch noch eine andere Ursache der Auslösung des Falles denkbar, nämlich Drucksteigerung im Hinterlande. Es ist, wenn wir Fig. 47 betrachten, ebensowohl möglich, dass die Luftmasse oben durch einen Aspirationszug seitens des barometrischen Minimums M_1, wie durch einen Schub des — wie wir wissen (S. 195), als Luftansammlung zu denkenden — barometrischen Maximums M_2 zum Absturze gebracht wird; immerhin wird erstere Möglichkeit als die bei weitem häufiger sich einstellende anzuerkennen sein.

Fig. 47.



Alle bisher gemachten Angaben bezogen sich auf beide Gattungen von Fallwinden gemeinsam oder doch nur auf die Unterscheidungsmerkmale dieser Gattungen. Es wird sich also jetzt empfehlen, die Winde vom warmen und vom kalten Typus gesondert für sich zu betrachten und insbesondere nach den geographischen Verhältnissen sich zu erkundigen, unter welchen dieselben beobachtet zu werden pflegen.

§. 9. **Winde vom Föhntypus.** Der geschichtlichen Darlegung K. Müllers [224] zufolge war der Alpenforscher Ebel (I, S. 22) der

erste, welcher sich mit dem Studium der Föhnerscheinungen befasste und auch zu ziemlich richtigen Ansichten darüber gelangt war. Die Folgezeit wich zu ihrem Nachteile von dem Pfade der direkten Beobachtung ab und erging sich in weit hergeholten Spekulationen, während reellen Erfolg doch nur sorgfältige Beachtung der charakteristischen Begleiterscheinungen eines Föhnsturmes gewährleisten konnte.

Eine sehr brauchbare Materialiensammlung zum Kennenlernen dieser Erscheinungen und zur Orientierung über die Föhnlitteratur gewährt die Monographie von Berndt [225], der allerdings dann, wenn es sich um die Erklärung, um das physikalische Moment handelt, nicht das gleiche Vertrauen entgegengebracht werden darf, welches die thatsächlichen Angaben verdienen. Mit Bezug auf die Arbeiten von Röder, Staub-Tobler und Stalder entscheidet sich Berndt [226] für die auf Favonius (S. 204) zurückgehende Etymologie, und es hat dies auch vieles für sich, indem dieses lateinische Wort in den verschiedenen Idiomen des romanischen Sprachstammes, vorab in den hier zunächst in Betracht kommenden rhätoromanischen (ladinischen) Mundarten Formen (fagugn, fuogn) annahm, welche der deutschen Bezeichnung lautlich nahe genug stehen. Ueber die Wirkungen, welche das Wehen des Föhnwindes nach sich zu ziehen pflegen, verbreiteten sich ebenfalls Berndt [227] und sodann, hauptsächlich unter dem medizinischen Gesichtspunkte, M. Höfler [228]. Es sei hier gleich erwähnt, dass die mehrfach verlautbarte Behauptung, der Föhn sei an sich ein Krankheitserreger, sich nicht aufrecht erhalten lässt, dass derselbe namentlich auch nicht direkt Pneumonien erzeugt, während selbstverständlich der Wettersturz, welcher dem Föhn fast auf dem Fusse folgt, zu Gesundheitsstörungen aller Art den Anlass geben kann. — Der Pflanzengeograph hat von der durch A. Kerner v. Marilaun ermittelten Thatsache Akt zu nehmen [229], dass an der Nordseite der bayerischen Alpen und in der Innsbrucker Gegend Inseln von „Föhnpflanzen“ auftreten, deren Natur eine mehr südliche ist, und die nur durch Föhntransport an ihrem jetzigen Standorte zur Ansiedlung gebracht wurden.

Das typische Land der Föhnstürme ist noch jetzt, so gut wir auch deren kosmopolitischen Charakter erkannt haben, noch immer die Innerschweiz, und an die dortigen Erscheinungsbilder schliesst sich denn auch die Schilderung [230] des Auftretens eines „wilden Föhns“ an. Gewöhnlich stand, ehe ein solcher einsetzt, das Barometer ziemlich hoch; wenn das Maximum einer herannahenden Depression das Feld räumen soll, so zeigt florschleierähnliches Föhngewölke die Aenderung des Witterungszustandes an. Im deutschen Teile Graubündens kennt man diese dünnen Wölkchen, durch welche hindurch die strahlenlose Sonnenscheibe ohne Gefahr für das Auge betrachtet werden kann, als „Chilbi“. Stark zerrissene Wolken weisen nach Hugi [231] darauf hin, dass ein Lokalwind vom Föhn erst sozusagen noch überwältigt werden muss, ehe derselbe seine volle Kraft zu entfalten vermag. Nun beginnt das Barometer erst langsam, dann rascher zu fallen; am Psychrometer (S. 67) lässt sich eine stetige Abnahme der relativen Luftfeuchtigkeit konstatieren; die Luft wird immer heisser, so dass bei Nacht auch keine Kühle Linderung bringt; über der Erde breitet sich ein bleigrauer Wolkenschleier aus. Elektrische Entladungen fehlen selten ganz. Davon, dass Föhnstimmung der Luft diese sehr durchsichtig macht, wurde bereits in der meteorologischen Optik (S. 97) gehandelt, und zumal die Schönheit der Farbentöne eines vom nahenden Föhn überlagerten Gebirges wird von Hann [232] gerühmt, während Heim [233] auf dieselbe Ursache den Umstand zurückführt, dass mitunter entfernte Schneeberge in goldgelbem Lichte erstrahlen. Und während für gewöhnlich optische und akustische Luftdurchlässigkeit an ganz verschiedene Bedingungen geknüpft sind, steigert sich, wie Denzler [234] angibt, diese Eigenschaft der Luft in der einem Föhnsturme nächst vorhergehenden Zeit erheblich, wie man denn auch dann gar oft unerklärbare Geräusche (vgl. S. 43) vernommen haben will. — Wenn dieses Vorstadium längere oder kürzere Zeit gedauert hat, so kündigen einzelne jähe Luftstösse den Beginn des wirklichen Sturmes an, der mit ungeheurer Gewalt in die Thäler hereinbricht, aber auch noch weit draussen im Flachlande seine volle zerstörende Macht offenbart. Am schlimmsten sind die niemals fehlenden Waldverwüstungen, über welche an der Hand eines Einzelfalles — im Oktober 1885 durchbrauste ein heftiger Föhn das Loisachthal bei Partenkirchen — Erk [235] näheren Bericht erstattete. Spezielle Belege über die vom Föhn angerichteten Verheerungen enthält das Berndtsche Werk zur Genüge. Da die trockenheisse

Luft überall den Schnee wegbeizt, so tritt auch häufig gleichzeitig mit dem Föhn Ueberschwemmung ein, welche sich noch steigert, wenn, wie dies die Regel ist, unmittelbar nachher heftige Regengüsse sich einstellen. Am meisten zu fürchten ist jedoch die Feuersgefahr. Es bestehen in den Urkantonen strenge Vorschriften darüber, dass bei Föhnwind, wenn sich die bekannten Vorboten zeigen, alle Feuer gelöscht werden müssen, weil das ausgetrocknete Holzwerk nur allzu leicht in Brand gerät, und eigene „Föhnwächter“ haben über die Befolgung der Polizeiverordnung zu wachen. Trotzdem sind Unglücksfälle nicht zu vermeiden. Der Flecken Glarus wurde im Laufe der Jahrhunderte dreimal durch Brand hart mitgenommen, am furchtbarsten durch die grosse Feuersbrunst vom 10. Mai 1861, welche nur wenige Strassen verschonte.

Bisher war lediglich vom Föhn der Urschweiz die Rede, und wenn auch dessen Wirkung bis tief in die Franche-Comté, nach Oberschwaben und Baden hinein verfolgt werden kann, so war als der Sitz der Luftbewegung, welche weite Aussenbezirke in Mitleidenschaft zieht, doch immer ein verhältnismässig kleines Gebiet der Westalpen ins Auge gefasst worden. Diese geographische Thatsache, dass man eben hier den Föhn in seiner Grossartigkeit am besten studieren kann, hat ungünstig auf die Erforschung der die warmen Fallwinde bestimmenden Gesetze eingewirkt, weil man sich von der Annahme, dass gerade die bezeichnete Oertlichkeit eine Rolle spielen müsse, nicht gut losmachen konnte. Nunmehr jedoch werden wir den Nachweis antreten, dass überall auf der Erde Föhn eintreten kann, wenn einerseits eine entsprechende Bodengestalt des Landes, andererseits die erforderliche Wetterlage sich zusammenfinden. Und damit ist denn auch der richtige Fingerzeig für kausales Begreifen der Erscheinung gegeben.

Zunächst kommen allüberall in den nördlichen Alpen Föhnwinde vor, die auch nicht im entferntesten etwas mit der Schweiz zu thun haben. Das gilt in erster Linie für die bayerischen Kalkalpen, die nach dieser Richtung hin von Erk genau erforscht worden sind [235]. In den österreichischen Ostalpen fehlt der Föhn keineswegs [236]; der sogenannte Jauck in Kärnten gehört unzweifelhaft in diese Kategorie. Auch der Vaudaire im Waadtland stammt jedenfalls nicht aus der Zentralschweiz. Vor allem aber ist wichtig, dass dem Südföhn, der nur wegen der Intensität seiner Bewegung deutlicher zu den Sinnen spricht, da und dort am südlichen Ausgange von Alpenthälern ein ausgesprochener Nordföhn zur Seite steht. Im graubündischen Puschlav kennt man ihn als lupo di neve („Schneewolf“) [237]; im Eisack- und oberen Etschthale konnte Höffinger [238] den von Norden kommenden Föhn immer dann konstatieren, wenn ein Maximum über Nordwesteuropa, ein Minimum über Südosteuropa lag; in Tragöss (Steiermark) macht sich nach R. Klein [239] echter Föhn bemerkbar, der von dem nördlich gelegenen Hochschwab herabstürzt und vom Volke mit in die allgemeine Windbezeichnung Jauck (s. o.) hineingezogen wird. Im ganzen wird es wenig alpine Gegenden geben, in denen nicht, vielfach natürlich nur durch Beobachtung der Instrumente, Föhnspuren aufzuzeigen wären. So kennt Turin einen Westföhn.

Wenden wir uns jetzt anderen Teilen Europas zu. In den östlichen Vogesenthälern tritt, wie Bamler meldet [240], zum öfteren echter Föhn zu Tage, indem die Westwinde, so lange sie durch Frankreich wehen, keine besondere Wärme besitzen, diese vielmehr erst nach Ueberschreitung des Gebirgskammes aufnehmen, nachdem sie auch ihre Feuchtigkeit verloren haben. Auch Siebenbürgens Rotenturmwind gehört hierher [241], und das deutsche Mittelgebirge ist von Assmann [242] ebenfalls als ein Föhngebiet erkannt worden. In Griechenland waren die warmen Fallwinde schon dem Altertum nicht unbekannt (s. S. 204) [243]. Theophrast schildert die Winde des Malischen Meerbusens so treu [244], dass man sofort den Föhn erkennt; der Westwind sei es, welcher die heisse, über den Gebirgen lagernde Luft in die Ebene herabführe. Auch die thessalische Liva, der böotisch-lokrische Megas sind als Winde dieser Art zu nennen. Endlich dürfen

gewisse Winde des schlesischen Riesengebirges, der Terral Südspaniens und der Vent d'Espagne des französischen Baskenlandes nicht unerwähnt bleiben.

In Nordamerika ist der Stempel des Föhns dem heissen Chinook-Winde aufgeprägt, der im Osten der Rocky Mountains weht und ein ungeheures Areal mit seiner austrocknenden Kraft heimsucht. Harrington hat ihn monographisch geschildert [245]. Aus Japan liegt eine Beobachtung Knippings [246] vor. Der Ort Komazawa liegt im Norden Hondos am Ausgange eines gegen Norden sich öffnenden Thales, und jedesmal, wenn über dem nördlichen Meere ein Minimum hinzieht, so ist Föhn eine regelmässige Erscheinung. Der neuseeländische Föhn ist von Haughton und Davis beschrieben worden [247]. Die heissen Winde des australischen Kontinentes, welche besonders an der Süd- und Südostküste sich unangenehm fühlbar machen [248] und, nach Neumayers Bericht, es bewirken, dass die Baumfrüchte buchstäblich gebraten an den Zweigen hängen, geben sich besonders auch durch ihre Trockenheit als warme Fallwinde zu erkennen. Vielleicht auffälliger kann erscheinen, dass die deutsche wissenschaftliche Expedition auf Süd-Georgien, nahe dem Rande der Antarktis, Winde vom Föhntypus wahrgenommen hat. P. Vogels Angaben [249] lassen darüber keinen Zweifel; die Temperatur erreichte unter dem Regime eines solchen Windes einmal, im subpolaren Winter (!), + 15,2°, und die relative Feuchtigkeit (S. 23), welche mittags 78 Prozent betragen hatte, war um 9^h abends auf 29 herabgegangen. Damit ist schon einleuchtend geworden, dass es auch innerhalb der eigentlichen Polarzone Winde geben kann, deren Herkunftsort die Eisregion ist, und die trotzdem, lediglich durch den Fall, warm geworden sind. Grönlands Westküste ist der Tummelplatz regelmässiger Föhnwinde. An die älteren grundlegenden Arbeiten von Rink [250] und Hoffmeyer [251] anknüpfend, wandte A. Paulsen, dem grönländischen Föhn, dem übrigens auch ein isländischer entspricht, seine besondere Aufmerksamkeit zu, wie dies eine ganze Reihe einschlägiger Abhandlungen [252] bezeugt. Er that unzweifelhaft dar, dass an ein Ueberwehen der ganzen, eisgepanzerten Landmasse durch den von der Ostseite stammenden Wind durchaus nicht gedacht zu werden brauche, dass vielmehr ein ganz örtliches Herabsinken der bis zur Einwirkung einer Aspirationsstelle ruhig über dem Inselplateau lagernden Luft alle Beobachtungen ausreichend erkläre; die Meinung, dass im Winter die Fallwinde immer kälter als im Sommer auftreten müssten, scheint jedenfalls nicht unbedingt zuzutreffen. Hann [253], dem auch die Beobachtungen von Jantzen [254] und S. Fritz [255] zu Gebote standen, wies das Auftreten von Föhn auch an der Ostküste nach, so dass mithin der polare Föhn jetzt zu dem gesicherten Besitzstande der Erdphysik gehört.

Eine zutreffende Erklärung aller dieser — lokal so verschiedenartigen und dem inneren Wesen nach doch zusammengehörigen — Phänomene konnte erst in die Wege geleitet werden, nachdem die von vielen mit Feuereifer ergriffene Anschauung, der Föhn der Westalpen habe seine Heimat in der afrikanischen Wüste, endgültig beseitigt war. Es wird stets Doves Verdienst bleiben, diese Hypothese als unvereinbar mit den Gesetzen der Mechanik erkannt zu haben, wie denn auch sonst seine das Föhnproblem behandelnde Schrift [256] mannigfache Anregung in sich schliesst. Die Erwärmung als eine Folge des Absturzes normal-feuchter Luft von der Höhe wird von Mühry richtig gedeutet [257]. Den Aspirationsvorgang machten Wettstein [258] und Wild (s. u.) zum Gegenstande scharfsinniger Untersuchung, die aber allerdings auf die Reibung und auf den schluchtartigen Charakter der Thäler, in welche die Luft hineingepresst wird, ein zu grosses Gewicht legt. Die jetzt allseitig anerkannte, durch zahllose Beobachtungen gestützte Föhntheorie rührt her von Hann, der uns über seine eigenen Vorgänger und den von ihm genommenen Entwickelungsgang selbst objektiv unterrichtet hat [259]. Ueber den Stand der Lehre unmittelbar vor dem Eintreten Hanns in die Arena gewinnen wir durch die Darlegungen von Fleischmann [260] und Lommel [261] eine gute Orientierung.

In den Schriften des amerikanischen Meteorologen Espy [262] wäre der Schlüssel zur Erschliessung des sich uns darbietenden Rätsels enthalten gewesen, allein im eigenen Lande bemächtigte man sich desselben nicht, und so ist es nicht zu verwundern, dass in Europa ein gleiches geschah. Auch Aeusserungen von Helmholtz [263] und Tyndall [264], auf welche neuerdings v. Bezold [265] aufmerksam machte, verhallten wirkungslos, weil nahezu die ganze Gelehrtenwelt unter dem Banne eines ganz anders gearteten Ideenkreises stand. Und doch hätten Helmholtz' Bemerkungen die richtige Direktive geben können, obwohl er noch in dem einen Punkte irrte, dass er von der absinkenden Luftmasse annahm, sie müsse notwendig von der anderen Seite des Gebirges herkommen. Allein man war allzu sehr erfüllt von der Hoffnung, für zwei grundverschiedene Fragen, für die nach der Eiszeit (s. u. in Kap. IX) und nach der Entstehung des Föhnwindes, eine einheitliche Antwort erteilen zu können. Bei einer Bereisung der nördlichen Sahara [266] (I, S. 27) waren Desor, Martins und Escher v. d. Linth zu Ueberzeugungen geführt oder auch in solchen befestigt worden, deren Hauptinhalt sich folgendermassen kurz skizzieren lässt: Die Sahara ist, geologisch gesprochen, eine junge Bildung [267], indem bis zum Ende der Tertiärzeit ein Meer den dortigen Boden bedeckte, während zugleich ein sehr grosser Teil Europas unter Schnee und Eis begraben lag; als aber der Boden der Wüste von Wasser frei wurde und nun unaufhörlicher Insolation ausgesetzt war, musste sich hier eine Luftauflockerung (S. 189) grössten Stiles entwickeln, und die nach Norden strömenden warmen Winde schmolzen die Gletscher unseres Kontinentes. Wurde damals die Hitze der Wüstenwinde wesentlich zur Leistung dieser Arbeit verwendet, so macht sich jetzt die hohe Temperatur der über die Alpen herüber wehenden Winde um so kräftiger fühlbar. Dränge das Meer, so argumentierte Escher [268], wieder in die Sahara-Mulde ein, so müsste in Bälde auch der Föhn vom europäischen Boden verschwinden. Für diese Lehrmeinung traten Männer von bedeutendem Rufe, wie De la Rive und Lyell, in die Schranken [269]; nur Dove bekämpfte sie (s. o.) von Anfang an, und auch H. Wild, mochte er immer gegen Dove teilweise polemisieren, ist doch entschieden in der Vorgeschichte der richtigen Föhntheorie mit Ehren zu nennen [270]. Nicht minder fielen die sachlichen geologischen Einwendungen Grads [271] gegen die Sahara-Theorie in die Wagschale, und auch durch die im wesentlichen zustimmenden Aeusserungen anderer schweizerischer Fachmänner [272] konnte der durchschlagende geometrisch-mechanische Grund nicht entkräftet werden, welchen die Anhänger Doves beibrachten. Auf der nördlichen Erdhalbkugel erleiden (S. 190) alle Luftströmungen eine kontinuierliche Ablenkung nach rechts, und deshalb könnte der Föhn, mit Dove zu sprechen, nur dann für einen Abkömmling Nordwestafrikas gelten, wenn die Erde ein Cylinder wäre [273]. Wie irrtümlich Moussons Bestimmung der präsumtiven Föhnbahn ist, hat Sprung [274] bewiesen. Schon ein über Südfrankreich wegstreichender Wind muss, den exakten Rechnungen Biehringers [275] gemäss, als WSW-Wind in der mittleren Schweiz anlangen; wie könnte also ein Nordwind, als welcher sich der Föhn zumeist offenbart, direkt aus der Sahara dorthin kommen! Der Einfluss der Erdumdrehung war eben ganz und gar unbeachtet gelassen worden.

Die vielbesprochene Hypothese konnte mithin selbst dann nur der Ablehnung verfallen, wenn, wie sich in ähnlichem Falle G. Kirchhoff (I, S. 73) ausdrückte, nichts vollkommeneres an ihre Stelle zu setzen war. Glücklicherweise jedoch nahmen gerade in dem Zeitpunkte, als die Polemik ihren Höhepunkt erreicht hatte, Hanns Föhnstudien ihren Anfang, welche bald eine Entscheidung in positivem Sinne bringen sollten. Durch Dufours [276] gründliche, wenn schon in theoretischer Beziehung absichtlich neutrale Studie über einen grossen Föhnsturm des Jahres 1866 war das gesamte Erfahrungsmaterial gesichtet und gesammelt worden; hier konnte die Reform vorteilhaft einsetzen. Die erste hieher gehörige Arbeit von Hann [277] griff die Sache gleich am richtigen Punkte an; Desor fragte, warum denn nicht auch anderwärts vom Föhn etwas zu verspüren sei, und auf diese Frage lautete der Bescheid, dass es eben auch wirklich Analoga des schweizerischen Föhns gäbe. „Wir sind der Ansicht und erwarten zuversichtlich, dass mit der Erweiterung unserer klimatischen Kenntnis ferner Erdteile, die jetzt noch sehr fragmentarisch ist, wir zur Kenntnis von allerlei Föhnen noch gelangen werden“ [278]. Unser Ueberblick über die Föhngeographie hat uns belehrt, dass diese Hoffnung keine trügerische war. Gleich darauf konnten die Berichte über neuseeländische

Winde vom Föhntypus (S. 208) verwertet werden [279]. Vor allem aber gab eine eindringende Erforschung [280] gewisser Winde, welche man Scirocco nennt, Gelegenheit dazu, die Existenz des Nordföhns, der ja ein unantastbarer Beweis gegen die Desorsche Hypothese ist, ausser Zweifel zu stellen.

Schlechthin ist der Scirocco (oder Sirocco) kein Fallwind, aber die Italiener fassen unter diesem Sammelbegriffe eine Menge verschiedenartiger Winde zusammen. In Italien und an der dalmatinischen Küste ist der Scirocco ein feuchter, schwüler Süd- oder Südostwind [281]; der algerische Wind gleichen Namens ist nach Kobelt [282] an der Mittelmeerküste weniger heiss, obwohl er da seinem mutmasslichen Ursprunge — der diesmal wirklich Wüstengebiet ist — verhältnismässig nahe sich befindet. Hingegen ist der sogenannte Scirocco Innsbrucks ein normaler Föhn [283], und ein gleiches dürfte auch vom Scirocco di Levante an den Ostküsten des Ionischen Meeres auszusagen sein. „Heiss und trocken," so charakterisiert ihn Philippson [284], „dörrt er die Pflanzen aus, die Blätter falten sich zusammen, die Halme der Gräser sinken welk zu Boden, die Menschen befinden sich in höchst unbehaglicher Stimmung." Und ein solcher — sozusagen falscher — Scirocco wird nun auch im Umkreise der grossen oberitalienischen Seen beobachtet; seine Identität mit dem Föhn wurde von Hann [285] meteorologisch bewiesen, und damit war der Behauptung, dass der heisse Wind dem Süden entstammen müsse, ein für allemal der Boden entzogen. Bald dehnte auch Billwiller [286] den Beweis noch auf die warmen Winde des Bergellthales aus.

Als das für die theoretische Einsicht geeignetste Objekt unter den vielen näher erforschten Föhn-Individuen erschien Hann der Föhn, wie man ihn in dem vorarlbergischen Städtchen Bludenz kennen lernen kann, und an diesem entwickelte er denn auch seine Lehre [287], welche im wesentlichen auf einer Anwendung feststehender Wahrheiten der mechanischen Wärmetheorie beruht. Die Luft lagert in Ruhe über dem Gebirge; die Saugwirkung eines vorüberziehenden barometrischen Minimums bringt sie zum Abstürzen. Lediglich durch den Akt des Absturzes erlangt der Wind die ihm eigene Trockenheit und hohe Temperatur [288]. Wenn man davon absieht, dass ja an und für sich nach oben (S. 180) eine Temperaturabnahme stattfindet, so kann man nach Hann auf eine Vertikaldistanz von 100 m eine lediglich durch die Kompression des Fallaktes bewirkte Temperaturerhöhung von 0,97° in Rechnung bringen. Bedeutet andererseits Δt die der Vertikaldistanz Δh ganz allgemein entsprechende Temperatursteigerung, c die spezifische Wärme der Luft, J das zuerst von Joule bestimmte mechanische Wärmeäquivalent, so gilt die Gleichung $cJ\Delta t + \Delta h = 0$, und wenn $\Delta h = 100$ gesetzt, für Δt aber Hanns Erfahrungswert genommen wird, so berechnet sich $J = 433$ mkg, während der genaue Wert dieser Fundamentalgrösse zwischen 424 und 425 mkg schwankt [289]. Auch damit ist also auch die Richtigkeit der Grundanschauung erwiesen. Indem die absinkende Luft aber wärmer wird, nimmt sie naturgemäss auch an Trockenheit zu, da sie sich (vgl. S. 23) immer weiter von ihrem Sättigungsgrade entfernt. Kurz, es lässt sich kein Moment anführen, welches nicht durch die besprochene Theorie seine ausreichende Klarstellung erhielte.

Nur bezüglich der auslösenden Ursache ist noch ein Wort zu sagen. Grosse Depressionen, welche über Europa hingingen, haben sich nicht selten ziemlich indifferent gegen die alpinen Luftmassen erwiesen; kleine Lokaldepressionen haben andererseits richtige Föhnstürme zuwege gebracht. Und darum sah sich Hann [290] zu dem Wahrscheinlichkeitsschlusse veranlasst, dass die Föhnwinde durchweg unter dem Einflusse solcher örtlicher Minima geringen Umfanges entstehen, welche ihrer Unbedeutendheit wegen auf den gewöhnlichen Wetterkarten gar nicht zu richtigem Ausdrucke kommen können.

Wir hatten bisher noch keinen Anlass, uns mit den Ausbuchtungen der Minimalgebiete zu beschäftigen, für deren Bereich der Luftdruck einen relativ tiefen Stand annimmt, ohne dass doch das Barometer hier so tief fiele, wie im zentralen Teile. Dem Hauptminimum steht ein sekundäres Minimum oder eine Teildepression gegenüber, und für das damit bestimmte Areal gelten dieselben Gesetze der Zyklonalbewegung, welche wir oben (im §. 4) uns zu eigen gemacht haben. Diese Teildepressionen nun sind es, welche den Föhn erzeugen. Pernter hat ausdrücklich festgestellt [291], dass mitunter lebhafte Föhnbewegung

eintritt, während das ganze Land zwischen Alpen und Nordsee schwache Gradienten aufweist; nur einige stark ausgebuchtete Isobaren hatten das Gebirge erreicht, und damit war der Anstoss zum Luftsturze gegeben. Auch Billwiller hat [292] einschlägige Wahrnehmungen über Partialdepressionen gemacht, in deren Interpretation er allerdings einigermassen von Pernter abweicht. Dagegen vertrat Erk in seinen früheren Veröffentlichungen (S. 207) stets die Ansicht, dass Teilminima Föhn-auslösend wirken, und diese Ansicht hat durch neuere Ermittelungen eine feste Stütze erhalten. Am Nordrande der schwäbisch-bayerischen Alpen gehören kleine Luftwirbel zu den regelmässigsten Erscheinungen; mit ihnen ist stets Föhn vergesellschaftet, aber dessen Auftreten ist oft ein so vorübergehendes und wenig intensives, dass die Wetterlage der etwas nördlich vorgeschobenen bayerischen Hauptstadt dadurch kaum berührt wird. Erk hat durch die Vergleichung der von den Hoch- und Thalstationen gelieferten Aufzeichnungen den Nachweis führen können [293], dass durch Südbayern, am Gebirgsfusse hin, eine ausgesprochene Zugstrasse kleiner Depressionen verläuft, welche das häufige, wenngleich häufig nur kurze Zeit dauernde Auftreten von föhnigem Wetter verursachen. Die Untersuchungen Hanns [294] über eine charakteristische Wetterlage des Jahres 1889 haben die Bedeutung der Teilminima für diese Frage schon damals ausdrücklich bekräftigt.

Damit wäre also, insoweit dies zur Stunde möglich ist, unser Wissen von den Föhnwinden nach Umfang und Inhalt umschrieben. Der jedesmal folgende Regen ist eine selbstverständliche Sache, denn oberhalb des Gebirges ist durch den Luftfall ein atmosphärischer Defekt entstanden, zu dessen Ausgleichung wasserdampfreichere Luft von der entgegengesetzten Seite des Gebirges nachströmt; beim Aufsteigen und Ueberschreiten des Kammes wird der Dampf in tropfbare Flüssigkeit verwandelt (s. u. in Kap. VII). Jene Föhnmauer, welche v. Kerner [295] als ein Kennzeichen der Föhnstimmung in der Luft für die südlich vom Brenner gelegenen Thäler so treffend schildert, welche als dunkler Mantel dortselbst den Südhorizont umsäumt, ist in eine regnende Wolke übergegangen. Dieser Regen hält einige Zeit an, obwohl (s. o.) nach Pernters Innsbrucker Beobachtungen schon bald nach Aufhören des eigentlichen Föhns das Barometer wieder zu steigen beginnt.

§. 10. **Die Winde vom Boratypus.** Nachdem wir gesehen, wie wenig die Verteilung der warmen Fallwinde von der allgemeinen geographischen Lage, wie sehr sie andererseits von der Oertlichkeit und der Gestaltung des Wetters abhängig ist, werden wir erwarten dürfen, dass es sich bezüglich der kalten Fallwinde nicht viel anders verhält. Eine Umschau auf der Erdoberfläche dient dazu, diese Erwartung zu bestätigen.

Der sozusagen berühmteste aller Winde vom Boratypus ist die Karstbora selbst, welche besonders die Umgegend von Triest und den Quarnero-Golf heimsucht, an dessen Küste sich nur einzelne besonders günstig gelegene Orte — z. B. das kroatische Seebad Cirkvenitza — dauernd etwas sicherer vor dem furchtbaren Luftanpralle fühlen können. Mazelle gibt an [296], dass Sekundengeschwindigkeiten bis zu 55,6 m notirt worden sind; das gibt einen Winddruck von 206 kg pro Quadratmeter, fast schon heranreichend an den in der Ingenieurwissenschaft angenommenen Maximaldruck bewegter Luft (vgl. S. 74). Zum Glücke kann man, wie v. Jedina hervorhebt [297], auf Grund der synoptischen Wetterkarte das Nahen einer Bora prognostizieren; dann werden wohl in Triest und Fiume Stricke auf den Strassen gespannt, um einen gewissen Verkehr zu ermöglichen, denn an sich schon ist das Gehen auf dem Pflaster istrischer und dalmatinischer Städte unangenehm, weil durch die erosive Kraft der Borastürme die Steine seit Jahrzehnten glatt gescheuert worden sind. Diejenigen Oertlichkeiten, für welche die Bora besonders regelmässig auftritt, lassen sich der Profilzeichnung Seidls [298] ent-

nehmen. — Ein anderer nur zu bekannter Wind des Boratypus ist der Mistral in Südfrankreich, der dann, wenn ein Minimum über Mittel- oder Oberitalien sich ausbreitet, als NW-Sturm von den Cevennen herabstürzt [299]. Er macht sich bis gegen Lyon und Genua hin fühlbar, am meisten aber im unteren Rhônethale, welches der kalten Luft als natürlicher Abzugskanal dient [300], so dass durch sein Wüten an den sonnigen Ufern der Provence Temperaturen unter Null hervorgebracht werden. Die „Wüste“ Crau, ein ödes, bloss mit Steintrümmern übersäetes Gefilde, über welche eine Spezialschrift von Berndt [301] handelt, dankt dieses ihr unwirtliches Aussehen wesentlich den eisigen Luftwogen der südfranzösischen Bora. — Im Gebiete des Mittelmeeres, dieses Wort im weitesten Sinne genommen, waren, wie die sorgfältige Prüfung einschlägiger Angaben des Altertums durch Neumann-Partsch ausweist [302], noch folgende kalte Fallwinde bekannt: der Idyreus in Pamphylien, der vom kilikischen Taurus herabbrausende Pagreus, der in der Apostelgeschichte [303] vorkommende Euryklydon, Winde, welche am Vorgebirge Malea, im Euripus, am Parnass, Kithäron und am skironischen Felsen auf dem Isthmus wehten und von den Reisenden gefürchtet wurden. — Eine sehr schlimme Bora ist nach dem Berichte v. Wrangels [304] diejenige von Noworosisk am Schwarzen Meere, welche direkt mit einem „Wasserfalle“ verglichen wird. Die topischen Verhältnisse ähneln sehr denjenigen der echten Bora-Küste, aber in den Wirkungen ist dieser pontische Fallwind dem istrischen noch weit überlegen. — Die nicht eben ferne liegende Auffassung, dass der wegen seiner Kälteerzeugung ungünstig berufene Burster Australiens eine Bora sei, ist von Köppen [305] widerlegt worden.

Ueber die Bedingungen, unter welchen ein Wind dieser Art zu stande kommt, liegen Untersuchungen namentlich aus dem Karstterritorium vor, dessen Verhältnisse eben am besten erforscht sind. Was andere geleistet, hat mit eigenen Resultaten in einer schätzenswerten Monographie [306] der küstenländische Meteorologe Seidl vereinigt. Er weist nach, dass dann, wenn der Luftsturz droht, die Temperaturabnahme mit der Höhe eine ungewöhnlich rasche ist.

Stellt man diese Thatsache neben die in §. 8 ermittelten allgemeinen Gesichtspunkte, so erkennt man die Uebereinstimmung. Das Gleichgewicht der Luftsäule ist ein labiles; der Fallwind wird der Regel nach (S. 204) ein kalter sein. In präziser Form parallelisiert ein Satz von Seidl die Gegensätzlichkeit der beiden Gattungen von Fallwinden, und es ergibt sich, dass am Nordostrande der Adria die Temperaturverteilung immer so geregelt ist, um einen Föhnwind fast unmöglich erscheinen zu lassen. Gelegentlich treten aber doch auch warme Ostwinde auf (S. 205).

Auch der Grad und die Form der Bewölkung dient dazu, eine Bora zu prognostizieren. Dunkle Kumuluswolken, in der kroatischen Landessprache Zastava genannt, umsäumen den Osthorizont, ohne sich bis zum Zenit zu erstrecken, so dass der grössere Teil des Himmelsgewölbes wolkenfrei bleibt. Genau ebenso lautet die auf Autopsie beruhende Schilderung [307] von Mohorovičić: „Bei der Bora sieht man gewöhnlich eine lange Kumuli-Bank in NE, von der sich fortwährend einzelne Stücke lösen, die aber das Zenit von Buccari“ — südöstlich von Fiume — nicht erreichen.“ Dabei kommt es denn oft, infolge lokaler Wirbel von geringer Raumausdehnung, zu absonderlichen Wolkenbildungen, welche mit solchen, die man in Südgrönland beobachtete und auch mit dem „Tafeltuche“ der Kapstadt, wie dies schon weiter oben (S. 29) bemerkt wurde, eine gewisse, kausal bedingte Familienähnlichkeit aufweisen.

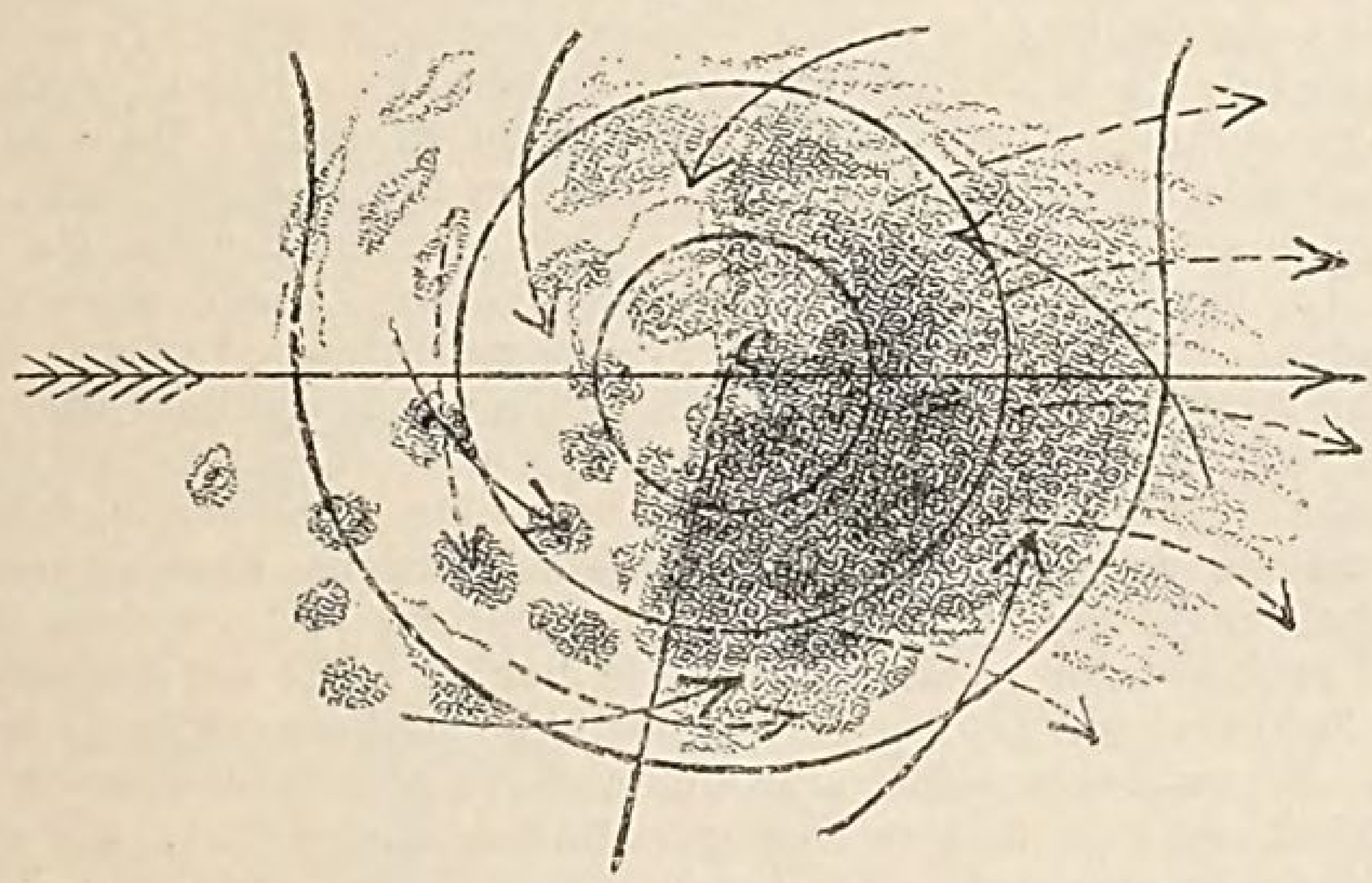
§. 11. Die Fortbewegung der barometrischen Maxima und Minima.

Jede barometrische Elevation oder Depression, mit deren Eigenschaften wir uns anher beschäftigten, galt als ein stabiles Element der Meteorologie; davon, dass dasselbe eine ausgesprochene Tendenz zur Fortbewegung habe, war nicht gesprochen worden. Nunmehr gilt es, den wirklichen Verhältnissen näher zu treten. Sowohl Stellen hohen als auch Stellen niedrigen Luftdruckes schreiten im Raume

fort; ihr Fortschreiten bedingt den Wechsel der Witterung; die Modalitäten der Bewegung bilden mithin einen wichtigen Untersuchungsgegenstand unserer Wissenschaft.

Im allgemeinen haftet trübe, unbeständige Witterung mit reichlicheren Niederschlägen besonders den Depressionen an; doch soll dieser Erfahrungssatz nicht etwa so verstanden werden, als ob es unter der Herrschaft eines Maximums niemals zum Regnen kommen könne. Es kann z. B. eine ziemlich stationäre, nicht sehr tiefe Depression längere Zeit sich neutral verhalten haben; wenn aber ein barometrisches Maximum in jene eindringt, so erfolgt ausgiebige Niederschlagsbildung [308]. Was sonst die translatorische Bewegung der Maxima anlangt, so ist zu sagen, dass dieselbe ziemlich langsam erfolgt, dass den Gebieten hohen Luftdruckes eine Neigung innewohnt, stationär zu bleiben. Es kann recht wohl sich ereignen, dass der hohe Luftdruck über einem bestimmten Orte sich mehrere Tage lang unverändert erhält. Um einen Einblick in die Witterungsveränderungen zu bekommen, welche den Vorübergang eines Minimums begleiten, wollen wir mit Ley (S. 31) und van Bebber [309] eine das nördliche Europa durchziehende Depression auf ihrem Marsche verfolgen; dass diese Bewegung in der sehr grossen Mehrzahl aller Fälle von W gegen E erfolgt, ist ein durch die Beobachtungen erhärtetes Faktum. In Fig. 48 gibt der Pfeil die Fortschreitungsrichtung, c den augenblicklichen Mittelpunkt der Zyklone an; die

Fig. 48.



ausgezogenen Pfeile signalisieren die Bewegung in den unteren, die gestrichelten die Bewegung in den oberen Luftschichten, welch letztere eben Ley uns durch Betrachtung der Cirren zu erkennen gelehrt hat. Wenn die Depression sich nähert, springt der im Maximalbereiche zumeist östliche Wind über SE und S nach SW um, und das Barometer fängt zu sinken an, obschon das Wetter noch einige Zeit heiter bleibt. Die im Westen auftauchenden feinen Cirrusschleier, deren weisse Fäden sich bald über den Scheitelpunkt hinüberspinnen, sind als die eigentlichen Vorboten der Wetterverschlechterung anzusehen; je massiger sie sich zeigen, um so tiefer pflegt die Depression zu sein. Obere und untere Windbahnen bilden einen ziemlich steilen Winkel miteinander. Aus den Federwolken werden dunkle Haufenwolken, die zuletzt in den charakteristischen Nimbus (S. 30) übergehen, und der nun anhebende Landregen kann, bei fortwährendem Tiefstande des Barometers im Glase, Tage lang anhalten, bis eben das Minimum ganz vorübergezogen ist. Eine von c ausgehende Linie, die mit der Fortschreitungslinie nach rückwärts einen spitzen Winkel bildet, heisst Aufklarungslinie; wenn sie, deren Lage durch die Tiefe der Depression und durch die Anordnung der — in der Figur als ganz oder nahe kreisförmig gezeichneten — Isobaren bestimmt ist, über den Beobachtungsort weggeht, treten die ersten Anzeichen des Witterungsumschlages in die Erscheinung; der Wind springt über W nach NW um; blauer Himmel blickt aus dem zerreissenden Wolkenmantel hervor, während gelegentlich auch wieder schwarze Kumuli die Sonne verfinstern, und trotz noch währenden trüben Wetters, das besonders im Frühjahr Regen- und Graupelschauer mit sich

bringt, steigt das Barometer an. Der Wind flaut ab, die Niederschläge mindern sich, die Sonne dringt durch, das Barometer wird stationär; man befindet sich eben unter der milderen Herrschaft eines Maximums, welches so lange währt, bis sich ein von Westen neu heranziehendes Minimum meldet. — Dies ist der typische Verlauf, wenn der Beobachter die Zyklone im Norden hat; im anderen Falle nimmt die Winddrehung den entgegengesetzten Sinn an. Der Regenfall ist dann minder energisch, die Ausbreitung des Regengebietes beschränkter; auch dauert dafür die dunkle Wolkendecke länger an, und das Aufklaren beginnt erst später. Man überzeugt sich leicht, dass nur der erwähnte Umstand — das Vorüberziehen sehr vieler Depressionen im Norden Deutschlands und überhaupt Mitteleuropas — es war, welcher Doves Aufstellung seines Winddrehungsgesetzes ermöglichte und leidliche Erfahrungsbelege dafür an die Hand gab. Für einen in Nordskandinavien wohnenden Beobachter konnte jene Regel niemals den Eindruck relativer Richtigkeit gewinnen, welcher ihr weiter südlich nicht abgesprochen werden konnte. Wir werden später (in §. 17) sehen, welcher Ersatz des sogenannten Doveschen Gesetzes durch die neuere Auffassung der allgemeinen terrestrischen Luftzirkulation angebahnt werden konnte.

Als Normen für das Studium der Depressionsbewegung hat Cl. Ley [310] eine Reihe von Leitsätzen aufgestellt, deren Geltungskreis er zwar ausdrücklich auf das atlantische Gebiet Europas einschränkt, von denen manche jedoch, wie zumal §. 14 uns zeigen wird, ganz generell die Fortpflanzung der Zyklonen regeln. Wir bemerken dabei, dass wir mit Prestel [311] und Supan [312] als barisches Gebiet den von einer zusammenhängenden Isobare umschlossenen Luftraum, mit Mio-, Meso-, Pliobare (μεῖον, weniger; μέσος, in der Mitte befindlich; πλεῖον, mehr) ein Gebiet dann bezeichnen, wenn der Barometerstand weniger, soviel oder mehr als 760 mm beträgt. Von der ersten These abgesehen, deren Inhalt schon früher (S 193) vorweggenommen wurde, lauten jene Sätze wie folgt. Plio- und miobarische Bezirke unterscheiden sich durch den Drehsinn der ihnen angehörigen Windsysteme. Gebieten niedrigeren Druckes haftet in aussertropischen Breiten ein Bestreben an, sich ostwärts zu bewegen, während grösseren Antizyklonen eine ausgesprochene Bewegungstendenz abgeht. Die Fortschreitungsrichtung variiert im westlichen Europa gewöhnlich zwischen NNE und SSE, indem jede Zyklone ursprünglich unter einem Winkel von etwa 15° gegen die niedrigen Isothermen der Umgegend sich bewegen möchte. Gebirgige Landstriche üben eine anziehende Wirkung auf die Minima aus, welche von Küsten zurückgehalten werden. Eine Depression wandert auf der Nordhalbkugel am liebsten in einer Richtung fort, welche verfolgend sie den höheren Druck auf der rechten Bahnseite behält. Für die Entstehung und Ausbreitung von Zyklonalgebieten sind Niederschläge charakteristisch, mit deren Aufhören auch die Depressionen selber zusammenschrumpfen oder sich verteilen. Dieser Einfluss der Niederschläge ändert sich gewöhnlich umgekehrt, wie die allgemeine Temperatur der Atmosphäre. Die Achse eines fortschreitenden Zyklonalwirbels pflegt nach rückwärts geneigt zu sein. — Ersichtlich bringt Ley das Problem der Fortbewegung eines Minimums in enge Verbindung mit der Temperaturverteilung, so dass sich die Notwendigkeit ergibt, neben den Isobaren auch überall die Ortsflächen gleicher Temperatur zu berücksichtigen. Indem Köppen [313] diesen wichtigen Fortschritt anbahnte, konnte er Leys teilweise noch etwas unsichere Sätze in folgender Weise ergänzen und berichtigen. A. Die Richtung der Luftströmung ist in unseren Breiten bis etwa zu 3500 m Seehöhe nahezu parallel den Isobaren der betreffenden Schicht, und zwar tiefer unten nach der Seite des niedrigen, weiter oben nach der Seite des hohen Druckes von der Isobare abweichend. B. Weil der Druck in warmer Luft langsamer als in kalter mit der Höhe abnimmt, ändern sich die sonst dem Luftdrucke proportionalen Gradienten (S. 190) nach aufwärts derart, dass auf der Seite der wärmeren Luftsäule ein Ueberdruck entsteht. C. Die Fortpflanzung der Depressionen geschieht annähernd in der Richtung der nach ihrer Gesamtenergie präponderierenden Luftströmung. D. Da die Bewegungsverhältnisse in verschiedenen Höhen des Luftwirbels auch selbst verschiedene sind, so ist für das Fortschreiten auch der Bewegungszustand der ganzen wirbelnden Luftmasse massgebend, und für diesen kann subsidiär der Bewegungszustand einer gewissen mittleren Schicht eintreten, deren Höhenlage erst noch durch eine eigene Untersuchung zu ermitteln ist. Für die in C. enthaltene Behauptung hat van Bebber [314] eine ganze Anzahl von Belegen erbracht, indem er (s. u.) die europäischen Zugstrassen daraufhin prüfte. Auch nach einer anderen Seite hin hat Köppens [315] Forschung Klarheit geschafft; sie hat uns den mechanischen Vorgang der Minima-Bewegung deutlich gemacht.

Die Zyklone schreitet mit dem allgemeinen Luftstrome vorwärts, indem an der Vorderseite stetige Ausgrabung, an der Rückseite stetige Ausfüllung stattfindet. Denken wir uns einen Menschen, der sich in einer Masse losen Sandes durch Ausschaufelung vorwärts arbeitet, während hinter ihm die entstandene Oeffnung sich sofort wieder durch Nachsturz des Sandes ausfüllt, so haben wir ein deutliches Seitenstück für die Bewegung eines die ruhige Atmosphäre durchziehenden Luftdruckminimums.

Neben der aktuellen Beschaffenheit der ein Land überlagernden Atmosphäre spielt auch die Bodengestalt desselben eine wichtige Rolle bei der Gestaltung der Depressionswege oder, wie man jetzt meistenteils sich ausdrückt, der Zugstrassen. Es kann deshalb nicht wunder nehmen, dass zwar gelegentlich ein Minimum seine eigene, isoliert dastehende Bahn einschlägt, dass aber daneben noch gewisse regelmässige und für einen bestimmten Erdraum angenähert konstante Zugstrassen sich herausbilden. Wir wollen dieselben, soweit bislang abgeschlossene Resultate darüber vorliegen, näher kennen lernen, indem wir zunächst für Europa uns an die allseitig als massgebend anerkannten Untersuchungen halten, welche van Bebber [316] angestellt hat.

Wir sehen in Fig. 49a die Zugstrassen des Januar, in Fig. 49b diejenigen des Juli vor uns; die Verhältnisse der übrigen Jahresteile lassen sich durch Kombination der beiden Extreme darstellen. Im Hochsommer ist das Bild ein einfacheres, als im tiefen Winter, insofern im ersteren Falle die gemeinschaftliche Fortschreitungsrichtung sich klarer ausspricht. Fünf Hauptwege, allerdings mannigfach verzweigt und verschlungen, lassen sich in beiden Jahreszeiten unterscheiden. Ueber die Frequenz dieser Wege orientiert eine Tabelle van Bebbers [317]; danach wird die Häufigkeit des Verkehrs auf den mit römischen Ziffern bezeichneten Bahnen folgendermassen zahlenmässig fixiert (die Zahlen geben die Häufigkeit der Fälle an):

Zugstrasse	I	II	III	IV	Va	Vb	Summe
Winter	46	32	23	10	15	12	138
Frühjahr	29	11	16	11	11	21	99
Sommer	37	12	3	34	1	14	101
Herbst	50	19	14	23	11	25	142
Oktober bis März .	86	52	46	34	28	37	283
April bis September .	76	22	10	44	10	35	197
Jahr	162	74	56	78	38	72	480

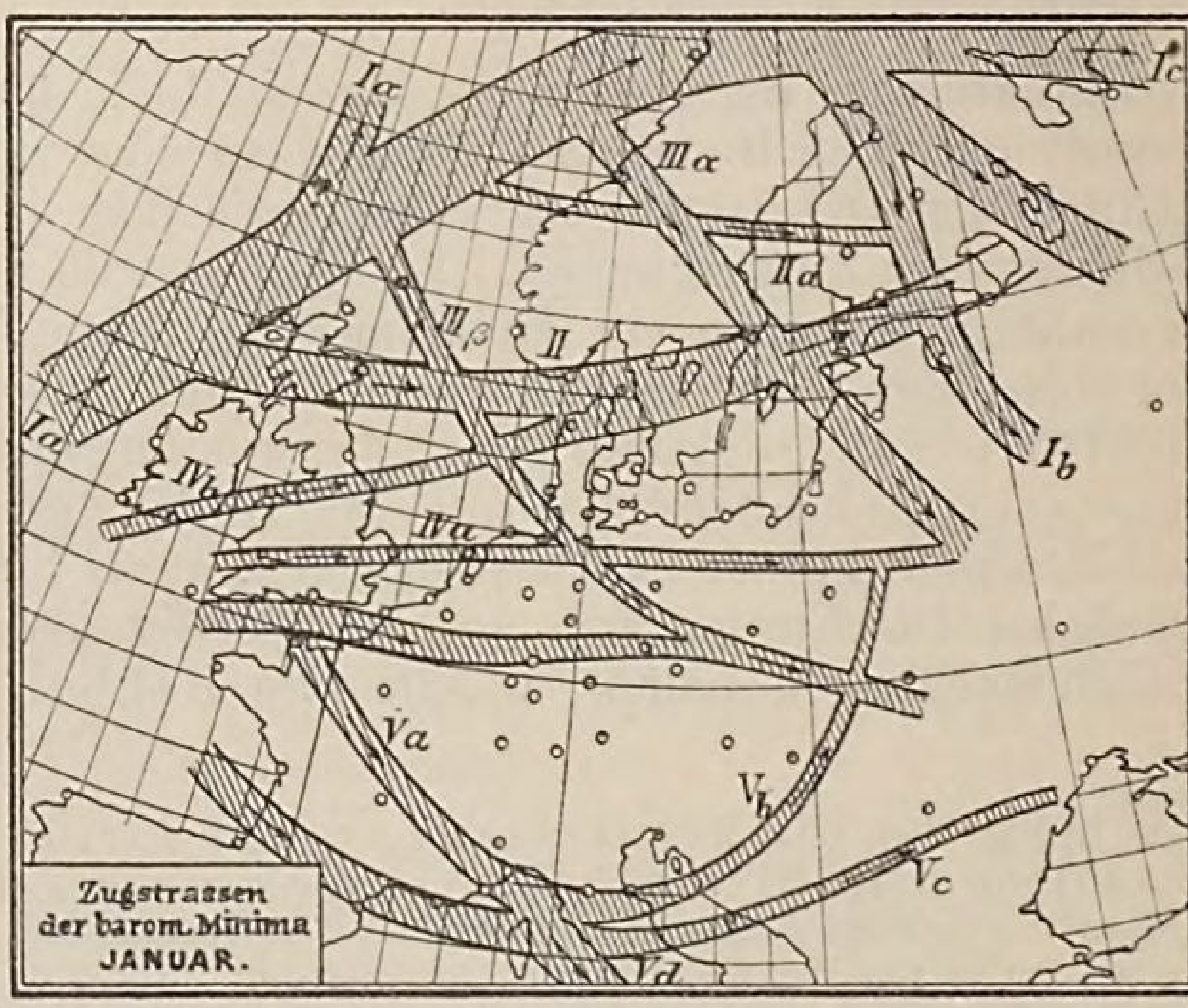
Auf eine tiefere Behandlung der Frage verzichten wir hier einstweilen, um uns nicht in Kap. XI der Gefahr einer Wiederholung ausgesetzt zu sehen.

Von Amerika ist bekannt, dass dort die Minima regelmässiger als anderswo bestimmte Bahnen einhalten; für den Norden sind da insbesondere Loomis' Angaben [318] von Wert. Eine analoge Beharrungstendenz konnten Eliot [319] für Vorderindien, Knipping [320] für Japan feststellen. Im letzteren Falle ist die Bewegungsrichtung der Hauptsache nach die gleiche, wie weiter im Westen. Eine Sonderstellung scheint Australien einzunehmen. Neuholland selbst sieht mehr Elevationen als Depressionen über sich hinwegziehen, und zwar wandern erstere gemeiniglich von E nach W, indem sie mit einer bei uns seltenen Geschwindigkeit sich bewegen [321]; im Winter wären Zyklonen an und für sich häufiger, aber ihre Zugstrassen liegen südlich vom australischen Kontinente [322].

Die Erkundung der Zyklonalbahnen ist zunächst eine empirische; theoretische Erörterungen mischten sich wenig ein. Doch hat es an solchen nicht gänzlich gefehlt, und Brounows Versuch [323], zumal für die Bewegung von W nach E einen zureichenden Grund ausfindig zu machen, verdient in jedem Falle volle

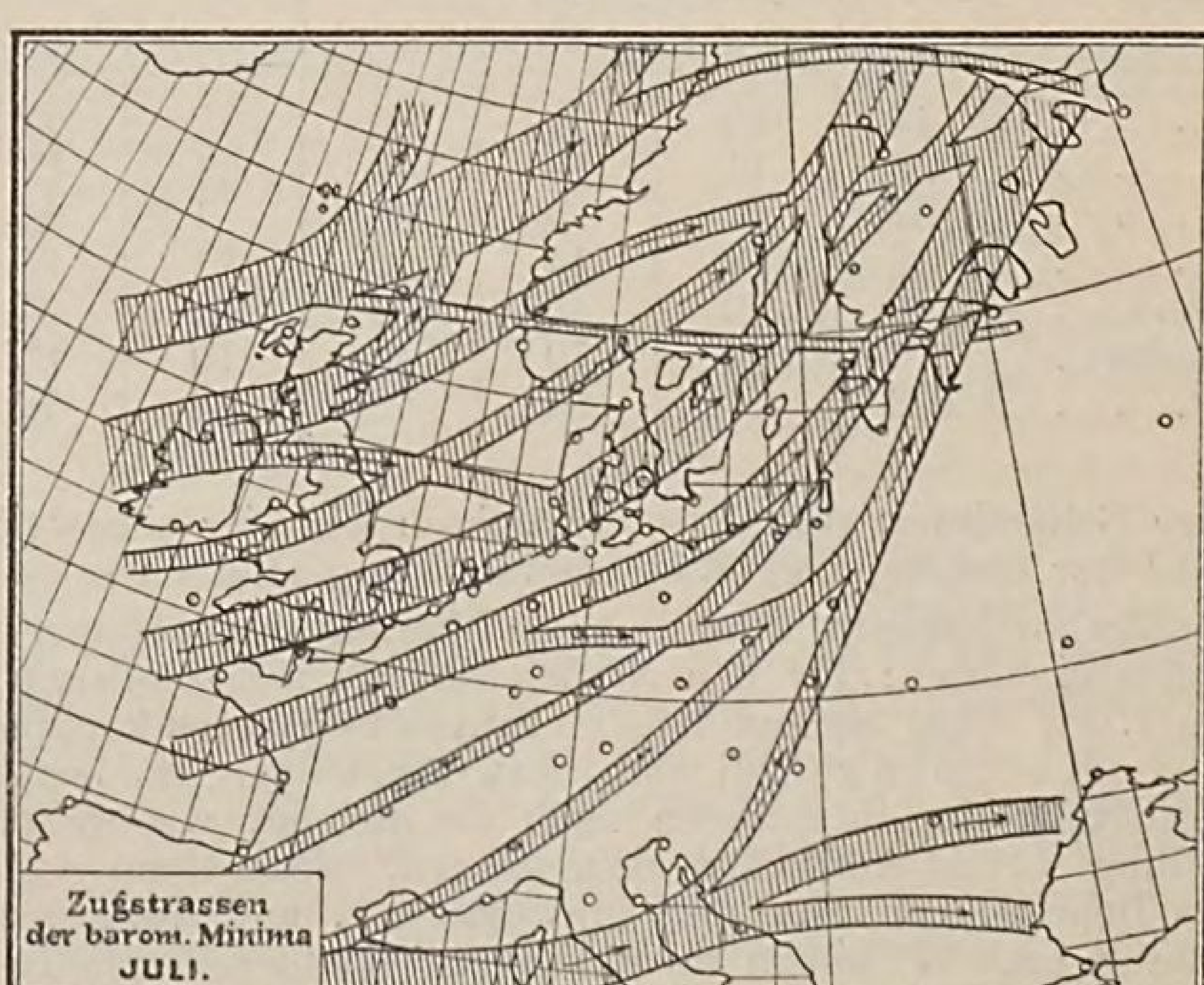
Beachtung. Die Fortschreitungstendenz in erwähnter Richtung soll danach dadurch bedingt sein, dass die Gebiete hoher Temperatur und grosser absoluter Feuchtigkeit meist im Süden von Gebieten niedriger Temperatur und geringer Luftfeuchtigkeit gelegen seien. Mühry hielt dafür [324], dass die Bahnen der

Fig. 49 a.



grossen Luftwirbel nach Punkten besonders grosser Winterkälte hinzielten, und auch Maydell [325] legte den Temperaturverhältnissen grosse Wichtigkeit bei, indem er durch Studium der synoptischen Karten nachstehender Erkenntnis geneigt wurde: Verbindet man den Momentanort A eines Minimums mit jenem Orte B der Umgebung, der die relativ höchste Temperatur besitzt, so bildet die Zugstrasse

Fig. 49 b.



des nächsten Tages mit der Linie A B einen bestimmten, erfahrungsmässig auszumittelnden Winkel. Als gewiss kann gelten, dass bei der Entstehung einer habituellen Minima-Bahn Luftdruck, Luftwärme und Luftfeuchtigkeit gleichmässig von Einfluss sind.

§. 12. **Stürme.** Wir haben oben (S. 74) von der Beaufortschen Skala der Windstärke Akt zu nehmen gehabt. Ein Wind, dessen Intensität durch eine der höheren Zahlen jener Skale (> 9) auszudrücken ist, wird Sturm genannt. Dem Prinzipe nach unterliegen auch die Stürme den in den vorstehenden Paragraphen aufgestellten Gesetzen aller Luftbewegung, aber natürlich treten doch, wenn diese Bewegung so grossartige Dimensionen annimmt, gar manche Besonderheiten hervor, welche berücksichtigt sein wollen. Die Gewitter der gemässigten Zone würden zwar ebenfalls hierher gehören, indessen ziehen wir es vor, ihnen einen besonderen Paragraphen anzuweisen, und ebenso wird der Spezialfall der Tromben in §. 13 abgehandelt. Hier also sind es nur die sogenannten Böen und die eigentlichen Wirbelstürme, welche unser Augenmerk auf sich lenken.

Die Begrenzung des Wolkenbezirkes, welcher als der Sitz und Ursprung einer Böe zu betrachten ist, trägt stets charakteristische Kennzeichen an sich, so dass Attlmayr [326) stets von bogenförmigen Böen spricht. Wir glauben das Beiwort als überflüssig weglassen zu dürfen. Elektrische Entladungen können eine Böe begleiten, aber eine völlige Notwendigkeit ist dies nicht, wie wir denn überhaupt (S. 144) über den Zusammenhang zwischen den rein mechanischen und den elektrischen Erscheinungen noch keineswegs uns im klaren befinden. Jedenfalls stellt sich uns eine Böe als ein Komplex von ganz bestimmten Erscheinungen hinsichtlich des Luftdruckes, der Windrichtung und Windgeschwindigkeit dar [327], und ziemlich mit jeder Depression steht eine Böe in Verbindung, deren Entwickelung sich aber auch in ganz engen Grenzen halten kann. Als Typus einer Böenwolke erscheint eine tiefschwarze, nach beiden Seiten scharf abgegrenzte Wolkenschicht, oberhalb deren sich Cirri und Cirrkumuli befinden, während zwischen ihrem Unterrande und dem Gesichtskreise sich ein gleichmässig lichtgraues Segment wahrnehmen lässt. Der schwarze Wulst rückt in die Höhe und allmählich entladen sich aus der grauen Zwischenschicht gewaltige Regenmassen. Verhältnismässig bald weicht aber die dunkle Stimmung der Luft wieder hellem Sonnenscheine.

Man spricht und hört oft sprechen von Aequinoktialstürmen; damit soll gesagt werden, dass um die Zeit der beiden Tag- und Nachtgleichen besonders häufig heftige Winde wehen. Aus den Untersuchungen von R. Scott folgt aber, zumal unter gehöriger Beachtung deutscher Verhältnisse [328], dass die grösste zeitliche Sturmfrequenz ganz und gar nicht mit jenen Terminen zusammenfällt. — Die Fortbewegung der Stürme, deren Zentrum nichts anderes als ein stark ausgesprochenes barometrisches Minimum ist, erfolgt unter höheren Breiten zumeist annähernd geradlinig; unter gewissen Voraussetzungen lässt sich Knippings [329] Methode der Bahnbestimmung anwenden. Von besonders bemerkenswerten Stürmen entwirft man am besten eine Individualcharakteristik dadurch, dass man, wie Köppen [330] vorschlug, passend eingerichtete Fragebogen an Eisenbahnbedienstete und andere durch ihre Beschäftigung zur Beobachtung von Naturereignissen hingeleitete Leute hinausgibt. Die „Ann. d. Hydr. und marit. Meteorol." enthalten viele einschlägige Mitteilungen von Köppen, van Bebber u. a. Gewöhnlich ist das Sturmfeld, das Areal, innerhalb dessen die losbrechende Böe durch Wind und Regen sich bethätigt, nicht so ausgedehnt, wie man nach den einer solchen entspringenden Energiewirkungen erwarten möchte; so tobte im März 1888 in der Union ein furchtbarer Sturm mit eisigen Winden und heftigstem Schneefalle, aber der Raum, auf dem sich das alles abspielte, war nur ein kleiner [331]. Eines von denjenigen Ländern, in denen sich besonders heftige Stürme nur allzu oft einstellen, ist das europäische Russland, aber auch über dessen Grenzen hinaus, in Zentralasien und Sibirien, begegnet man solchen. Merkwürdigerweise treten in Südrussland, wie Ssresnewsky [332] berichtet, die Stürme am häufigsten dann ein, wenn ein Maximum über dem Lande lagert; dafür, dass es auf dem Weissen Meere zur Sturmbildung komme, sei allerdings zyklonale Bewegung erforderlich. Nach Klossowsky haben die Staubstürme der Steppe mitunter die Gestalt eines Kometen [333], indem der Schweif aus fein verteiltem Staube besteht; eine tägliche Periode ist bei diesen Stürmen unverkennbar. Wir werden die Staubstürme später (in Kap. I und V der Abteil. VIII) als ein wichtiges morphologisches

Element kennen zu lernen haben. Im waldlosen Sibirien — und auch schon westlich vom Ural — findet sich der Tummelplatz der furchtbaren Burane oder Schneewirbelstürme [334]; wer in den Bereich eines solchen Schneetreibens gekommen ist, gilt in der Regel als verloren.

Jeder heftige Sturm wirkt einigermassen als Tornado (spanisch; von tornar, herumdrehen), d. h. der Wirbelcharakter macht sich zumal in den Verwüstungen bemerkbar, welche nach dem Vorbeiziehen der Zyklone das Sturmfeld bedecken. Das Land, welches am häufigsten von solchen Wirbelstürmen heimgesucht wird, ist unstreitig derjenige Teil Nordamerikas, welcher westlich vom Felsengebirge, nördlich vom Gebiete der fünf grossen Seen, östlich von den Alleghanies begrenzt wird, während nach Süden hin kein deutlicher Abschluss stattfindet. Das englische Wort Hurricane (Orkan) ist in Nordamerika für solche Stürme allgemein im Gebrauche, wird aber auch für die eigentlichen Zyklonen des Antillen-Meeres angewandt (Westindia-Hurricane, Barbadoes-Hurricane).

Die Kraftentwickelung dieser amerikanischen Landböen ist eine, im Vergleiche mit ihrem geringen Umfange, ganz ungeheure [335]; sie treten in den warmen Monaten zumeist gesellig auf und rasieren oft ganze Ortschaften vom Angesichte der Erde weg, so dass man in besonders bedrohten Gegenden, wenn starkes und plötzliches Sinken des Barometers ihr Nahen ankündigt, in unterirdischen Zufluchtsstätten („Tornado Cellars") Schutz suchen muss. Diesen amerikanischen Tornados gegenüber sind die afrikanischen nach Hann [336] ganz harmlos; es sind Gewitterböen, denen man in Senegambien und an der Goldküste begegnet, und die starke Abkühlung, das Barometer aber zum Steigen bringen. Ganz fehlen solche energische Wirbel mit schmalem Sturmfelde auch in unserem Erdteile nicht. Am 31. Mai 1892, so erzählt Mohorovičić [337], ging ein schmaler Tornado über eine kroatische Bahnlinie und traf gerade einen Zug, dessen Anfangs- und Schlusswagen ruhig auf den Schienen blieben, während das Mittelstück des Trains schwer beschädigt und teilweise ganz aus dem Geleise geworfen wurde. Am 14. Mai 1886 wütete ein Orkan von ganz ungeheurer Stärke in Niederschlesien, und das Städtchen Crossen wurde arg mitgenommen. Die Art der Walddevastation wurde damals von Assmann und Köppen genau studiert [338], und man konnte aus der Richtung, in welcher die Bäume umgefallen waren, auf die Drehungsverhältnisse innerhalb des Luftwirbels schliessen. Aus den Angaben des schweizerischen Forstexperten Coaz [339] erhellt, dass auch europäische Stürme gewaltigster Kraftäusserung fähig sind. Drei Stürme — wohl auch teilweise durch Föhn veranlasst — hatten in einem Jahre einen Windbruch von 700000 Festmeter, im Werte von 10 Millionen Franken, zuwege gebracht. — Einen neuen Gesichtspunkt hat E. Hayden [340] in die Theorie der Tornados hineingetragen. Ihm zufolge wird nämlich die geographische Breite der Gegend, in welcher die Sturmbahn eine auffällige Ablenkung erfährt, durch eine jährliche Periode bestimmt.

Von den Landtornados, wenn wir dieses Wortes uns bedienen dürfen, vollzieht sich ohne weiteres der Uebergang zu den gigantischen Wirbel- oder Drehstürmen der Tropenzone. Man nennt dieselben uneigentlich wohl auch schlechtweg Zyklonen — uneigentlich deshalb, weil ja doch mehr oder weniger alle Winde (S. 191) als Zyklonen aufzufassen sind. Man unterscheidet hauptsächlich drei Meeresräume, in denen diese gefährlichsten Feinde der Schiffahrt sozusagen zu Hause sind: das Antillen-Meer (Hurricanes s. o.), den nördlichen Indischen Ozean (Mauritius-Orkane, so benannt nach der bekannten Maskarenen-Insel) und die chinesisch-japanischen Küstengewässer (Taifuns, verderbtes chinesisches Wort; engl. Typhoons). Zur Einführung in das Studium dieser heftigsten aller Stürme sind die Schriften von Reye [341] und Schück [342] zu empfehlen.

Das Wort Taifun interpretiert Hirth [343] als „Wind von Formosa“ (t'aifung). In der That wird ja auch die Umgegend dieser — neuerdings in japanischen Besitz übergegangenen — Insel mit Vorliebe von den gefährlichen Wirbeln durchzogen. Gerade in der Chinesischen See hat die deutsche (resp. preussische) Marine drei Schiffe durch Taifunwüten eingebüsst, die „Amazone“, den „Frauenlob“ und zuletzt noch den „Iltis“ [344], während ein viertes, die „Augusta“, nahe der Insel Socótra spurlos unterging.

Ueber die Manövrierregeln, durch welche ein von einem Drehsturme bedrohtes Fahrzeug seine Rettung erstreben kann, wird in Kap. XI zu sprechen sein. Vorläufig soll nur von dem thatsächlichen Momente gehandelt werden. Dass ein Schiff, wenn es einmal in den eigentlichen Wirbel hineingerissen ist, dem Untergange geweiht erscheinen muss, wird klar, wenn man sich das Mass aktueller Energie eines derartigen Sturmes vergegenwärtigt. Einige drastische Belege hiefür teilen Attlmayr [345] und van Bebber [346] mit. Im Oktober 1780 tötete ein Hurricane Tausende von Bewohnern der kleinen Antillen, verwandelte ihre Wohnstätten in Trümmerhaufen und warf schwere Geschütze von den Festungswällen auf Barbadoes in das Meer hinab. Und nicht sehr weit davon, auf Martinique, stellten im August 1891 folgende Ziffern die „Bilanz“ eines kurz dauernden Wirbelsturmes dar [347]: 420 Tote, 1400 Verwundete, 120 Millionen Mark Sachschaden!

Auf eine detaillierte Beschreibung der Einzelvorgänge, welche ein solches Naturereignis zusammensetzen, leisten wir hier Verzicht. Von physikalisch-geographischem Interesse sind zwei Dinge, und diese verdienen deshalb auch eine eingehendere Diskussion. Wir meinen das sogenannte Auge des Sturmes und weiter den Umstand, dass die Bahnen der Sturmzentren nicht geradlinig oder schwach gekrümmt verlaufen, sondern im allgemeinen eine regelrecht parabolische Krümmung aufweisen. Das Sturmfeld hat dann auch noch die Eigenschaft, sich in dem Mafse zu verbreitern, als die Intensität des Sturmes nachlässt.

Fast alle Seeleute, welchen es geglückt ist, einem Drehsturm zu entkommen, berichten übereinstimmend, dass das Toben des Windes und der von ihm aufgerührten Wellen, nachdem es schon einen sehr hohen Grad erreicht hat, mit einemmal einer Ruhe Platz macht, die eben durch diese Plötzlichkeit selbst wieder beängstigend wirkt. Durch einen in der schwarzen Wolkendecke aufklaffenden Riss blickt der helle Himmel herein — daher der eigentümliche Name „Auge“. Ballou, der sich monographisch mit dieser Unterbrechung des Sturmes beschäftigt hat [348], bemerkt, dass derselben bereits in Dampiers Reisejournalen (I, S. 18) Erwähnung gethan werde. Ihm zufolge geht das eigentliche Minimum unmittelbar vor dem Sturmesauge einher. Vielfach ist, wie gesagt, die Zeit der Kalmendauer nur eine ganz kurze, 10^m etwa; doch steigt sie in Ausnahmefällen bis zu 5^h an. Alsdann nimmt das momentan sturmfreie Gebiet auch eine sehr grosse Ausdehnung an; es ist ein flacher Cylinder bis zu 50 km Basisdurchmesser. Im Stillen Ozean konstatierte Knipping [349] ein Ruheintervall, dessen Länge zwischen 10^m und $1\frac{1}{2}^h$ schwankte. Der Durchmesser des windstillen Areales war entsprechend etwas grösser, indem er 30 Seemeilen erreichen konnte. Der älteren Lehre — Espy, Ferrel — gemäss wäre absteigende Luftbewegung die Ursache der Entstehung des Sturmauges, aber Ballou selbst ist der Meinung, dass die Winde den immunen Innenraum deshalb nicht erreichen, weil mit zunehmender Geschwindigkeit auch (S. 190) die ablenkende Kraft der Erdumdrehung wächst. Jedenfalls setzt nach Vorüberziehen der Sturminsel die Kraft des Orkanes verdoppelt ein. Ein unverbrüchliches Gesetz ist nach Chevallier [350] übrigens in dem Auftreten eines Sturmauges nicht zu erblicken, denn zumal bei den ostasiatischen Taifunen kommt es vor, dass sie ganz ohne Unterbrechung verlaufen.

Am meisten bekannt ist das parabolische Umbiegen der Drehstürme im westlichen Teile des Atlantischen Ozeans; Fig. 50 bringt nach J. Müller [351] einen Drehsturm zur Anschauung (August 1830), der am 14. den Bahamas-Archipel streifte, am 15. Floridas Ostküste traf und am 19., schon sehr breit und matt geworden, die New-Foundland-Bank erreichte. Die Mittellinie des Feldes repräsentiert zugleich den Weg des Wirbelzentrums. Für den Indischen Ozean liegen vor die Fest-

stellungen von Köppen [352] und Meldrum [353], welch letzterer, wie wir wissen (S. 174), auch eine gewisse Abhängigkeit der Drehstürme von der Sonnenfleckenperiode nachgewiesen hat. Zwischen 10° und 15° s. Br. ist die Mehrzahl der Wirbelbahnen westwärts gerichtet, um sodann, mit Vergrösserung des Sturmfeldes an Rotationsenergie verlierend, südlich von den Maskarenen eine Umbiegung gegen Nordost zu erleiden. Für den Pazifischen Ozean hat Doberck [354] eben diese Thatsache bestätigt. Die meisten Taifune kommen von Südosten, durchkreuzen die Strasse von Formosa (s. o.), dringen in das Innere Chinas ein und gehen, nachdem sie das bekannte Knie gemacht haben, zwischen Tschifu und Shanghai wieder in das offene Meer über. Ob Wittwers Erklärung [355] der Richtungsänderung, welche auf einen Einbruch des oberen Antipassates (S. 199) in den unteren Passat Bezug nimmt, das Richtige trifft, kann hier dahingestellt bleiben.

Manch bedeutsamen Gesichtspunkt haben uns die Untersuchungen von Viñes [356] an die Hand gegeben, wenn sie auch zunächst nur westindische Vorkommnisse im Auge hatten. Vor allem verdient hervorgehoben zu werden, dass sich unter dem Einflusse des Sturmes zwei Antizyklonalgebiete herausbilden, welche den Wirbel auf seinen beiden Seiten begleiten. Aus diesem Grunde geht dem nie fehlenden Barometersturze, der bei

Fig. 50.



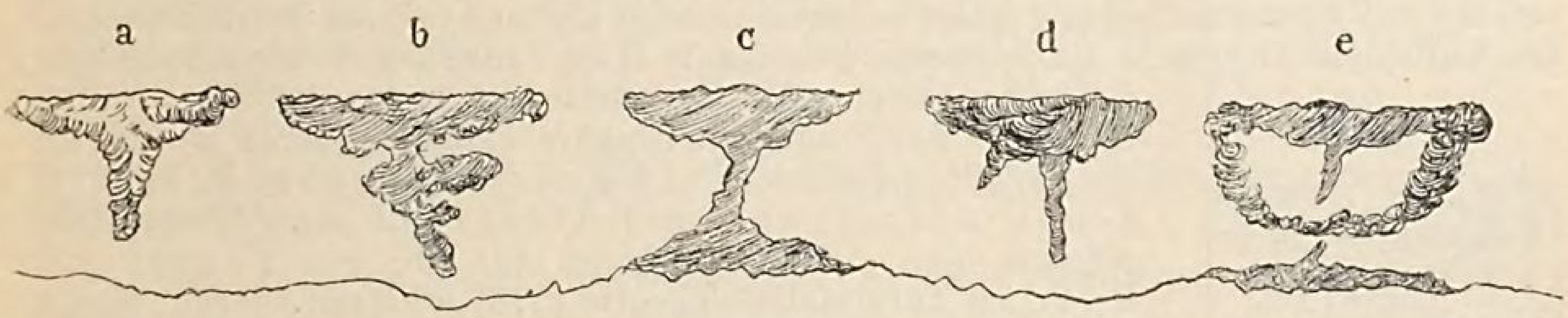
der erwähnten Katastrophe von Martinique (S. 219] 20 mm in 1^h ausmachte, ein ungewöhnliches Steigen bei trockenem und frischem Wetter voraus, in welchem Eingeweihte den ersten Vorboten erkennen können. Es mag daran erinnert werden, dass eine durchaus analoge Wahrnehmung, wie Hellmanns historische Studien ergaben [357], bei Gewitterstürmen in Deutschland schon im XVIII. Jahrhundert von Planer und Rosenthal gemacht, im XIX. aber von Strehlke [358] unabhängig bestätigt worden ist.

§. 13. **Wettersäulen und Tromben.** Zwischen Tornados, Tromben und Wettersäulen besteht keinerlei grundsätzlicher, fest zu definierender Unterschied. Wenn das Sturmfeld eines Tornados so klein geworden ist, dass man seine Fläche nur nach Quadratmeter, nicht mehr aber nach Quadratkilometer zu bestimmen vermag, so nennt man den Luftwirbel eine Trombe (soviel wie Trompete in den romanischen Sprachen). Eine solche kann sich derart verschmälern, dass nur noch ein dünnes, wirbelndes Luftgebilde, eine Wettersäule (nubis pendula, columna, tuba bei den älteren Schriftstellern) übrig geblieben ist. Wenn der Wirbel Sand oder sonstige leichte Körperchen mit in die Höhe

reisst, so spricht man von einer Sand- oder Staubhose; wenn Wasser aufgepeitscht wird, so dass ein Wassercylinder sich über das Niveau erhebt, so spricht man von einer Wasserhose (engl. Water-Spout).

Die ältere Litteratur über diese merkwürdigen Phänomene hat Muncke [359] mit gewohnter Umsicht und Vollständigkeit gesammelt. Aber auch an neueren Beobachtungen ist kein Mangel, und da diese gewöhnlich auch die genaueren sind, so sollen sie hier vorwiegend berücksichtigt werden. Namentlich sind diejenigen des Amerikaners Finley [360] von Wichtigkeit, der fünf Stadien der Trombenbildung, abgebildet in Fig. 51, unterscheidet. Bei a senkt sich aus der tief schwebenden Wolke ein korkzieherartiger Ansatz zur Erde herab, der bei b infolge der Wirbelbewegung phantastische Formen annimmt; bei c ist die Verbindung zwischen Himmel und Erde hergestellt, so dass ein Gebilde entsteht, welches einem einschaligen Hyberboloide ähnelt; bei d sehen wir das erste Stadium der Zerreissung, so dass in den beiden Spitzen je eine Spiralbewegung von entgegengesetztem Drehsinne stattfindet [361]. Jeder Typus kann auch selbständig für sich auftreten, so dass sich keiner der folgenden Typen aus ihm heraus zu entwickeln braucht, und auch e ist eine ganz für sich allein dastehende Form. Vor der Auflösung wird die Trombe stationär, was jedenfalls von der starken Bodenreibung herrührt; Hildebrandsson konnte [362] dieses Stehenbleiben einer vorher gegen die Sonne wirbelnden Wettersäule einmal deutlich wahrnehmen. In einem Walde richtet auch eine Trombe ähnliche, wenn auch quantitativ nicht so sehr ins Gewicht fallende Verheerungen an, wie dies ein echter Wirbelsturm thut [363]. Wenn die Trombe über einen Strom hinweggeht, so kann sie den Anstoss zur Bildung einer Wasserhose geben, aber wenn ihre Bewegungsenergie eine grosse ist, so legt sie

Fig. 51.



wohl, wie dies Hovey [364] am 14. April 1886 bezüglich des Mississippi wahrnehmen konnte, gelegentlich eine beträchtliche Strecke des Flussbettes ganz und gar trocken. Zu einer sehr exakten Bestimmung der Natur einer Wettersäule verhalf der Umstand, dass am 27. Mai 1897 eine solche, die in der Nähe Münchens auftrat, von verschiedenen sachkundigen Beobachtern, die sich auch an verschiedenen Standorten befanden, gleichzeitig gesehen wurde. Finsterwalder, von dem die Beschreibung herrührt [365], betont, dass innerhalb des Trichterschlauches sich ein innerer röhrenförmiger Hohlraum deutlich abgrenzte; nach einiger Zeit sah man Veränderungen im Schlauche vor sich gehen, dessen graue Farbe verwandelte sich in ein schmutziges Gelb, und alsbald verschwand die ganze Erscheinung.

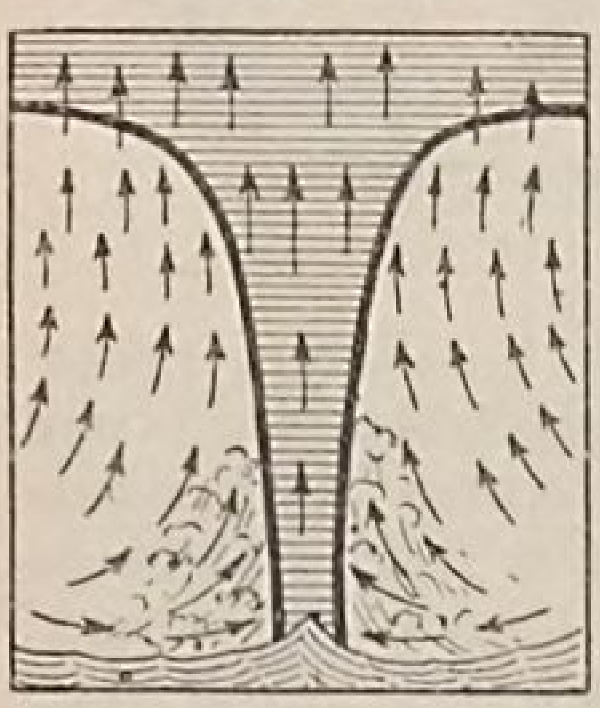
Ueber Wasserhosen liegen insonderheit von seemännischer Seite viele Nachrichten vor [366]. Gibson meldet [367], dass sich solche Wassersäulen gar nicht selten über dem Golfstrome bilden; allerdings nur während der kalten Jahreszeit, weil sich in dieser der Temperaturüberschuss des Wassers gegenüber der Luft derart geltend macht, dass nach oben eine rasche Temperaturabnahme und Luftverdünnung eintritt. Die Wasserhosen des Meeres gelten für gefährlich, so dass man angeblich zum öfteren mit Kanonenkugeln das nahende Ungetüm zu zerteilen gesucht hat, aber es ist doch von Chaldni ein Fall festgestellt worden [368], in welchem der rotierende Wassercylinder über ein Schiff hinwegging, ohne demselben sehr wehe zu thun. Eine besonders bemerkenswerte Wasserhose hat vom Rath [369] einmal im Rhein beobachten können, indem sich dieselbe wie ein massiver gotischer Turm den Wolken entgegenstreckte, ohne dieselben zu erreichen. Der Doppeltrichter (Fig. 51 c) ist oft deshalb nicht gut zu erkennen, weil dem Fernerstehenden der Fuss der Trombe durch vorliegende Objekte verdeckt ist. Ganz deutlich unterschied Less [370] diese Gestalt bei einer Sandhose, deren Einschnürungsstelle sich 40 bis 50 m über dem Boden befand, und in deren Innerem man den Sand spiralig emporsteigen sah. Als sie zerfallen war, entstanden unverzüglich in der Nähe neue,

wiewohl kleinere Sandwehen. Nach Schläflis Originalberichten [371] kennt man in Mesopotamien kaum eigentliche Stürme, um so mehr aber gewaltige Staubwirbel; „die über Berg und Land schreitenden Thronträger“ des Izdubar-Epos (I, S. 492) deutet Suess [372] als Staubtromben, deren Haupt das Himmelsgewölbe zu stützen scheint, während ihr Fuss auf der Erde dahinwandelt.

Die Theorie der Tromben kann prinzipiell von jener der Luftwirbel überhaupt nicht wesentlich verschieden sein, und es ist nicht erforderlich, von den verschiedenen im Laufe der Zeit ausgedachten Erklärungsversuchen sämtlich Notiz zu nehmen, deren Muncke, nach Peltiers Vorgang, nicht weniger denn dreissig aufzählt [373]. Die Elektrizität, an welche früher grosse Ansprüche gestellt wurden, spielt zweifelsohne nur die ganz accessorische Rolle einer Begleiterscheinung. Wirklich strittig ist eigentlich nur die praktisch schwer zu entscheidende Frage, ob die Luftbewegung im Inneren einer Trombe als eine auf- oder absteigende anzusehen sei.

Die Analogie mit jenen Wirbelwinden, welche sich über Vulkankratern bei Ausbrüchen bilden (I, S. 381), sowie mit den durch Wald-, Schilf- und Grasbrände erzeugten Winden wird von Reye [374] mit Recht in den Vordergrund gestellt; ihm zufolge haben Makay und Redfield (S. 28) in den südlichen Unionsstaaten, A. v. Humboldt in den südamerikanischen Llanos, Bruce in Afrika, Clarke in den russischen Steppen übereinstimmende Erfahrungen gemacht. Charakteristisch ist stets die starke Luftverdünnung im Inneren des Schlauches. Wenn man deren Ursache auch nicht immer anzugeben in der Lage ist, so darf doch daran erinnert werden, dass Möllers Experimenten [375] zufolge bei geringer Reibung auch schon eine sehr kleine Kraft im Wirbelzentrum den Luftdruck ungemein stark herabsetzen kann. Den hinsichtlich der Bewegungsrichtung bestehenden Zwiespalt haben wir bereits bei den Zyklonen der Sonnenatmosphäre kennen gelernt (I, S. 74); Reye [376] nimmt einen aufsteigenden, Faye [377] einen absteigenden Luftstrom an. Theoretisch möchte man sich am liebsten für die von Ferrel und Sprung aufgestellte Theorie [378] erklären, deren Wesen durch Fig. 52 genügend erläutert wird; die Wettersäule ist danach ein Trichter mit langem, gegen den Erdboden hin allmählich sich verjüngendem Rohre. Damit lassen sich gar manche Beobachtungen gut vereinigen, so z. B. diejenigen, welche Brandes [379] an einer Wasserhose in der Weser angestellt hat.

Fig. 52.



Auch der Laboratoriumsversuch hat sich des Phänomens bemächtigt. Weyher und Colladon haben durch Versuche dargethan [380], dass, wenn eine Luftmasse durch eine äussere Kraft in Rotation versetzt wird, die erstere nicht nur selbst eine Zentrifugalbeschleunigung erfährt, sondern auch die umgebende Luft in Mitleidenschaft versetzt, während zugleich innen ein achsiales Vakuum sich bildet. Andererseits hat auch Planté seine bekannten Sekundärströme auf unseren Fall angewandt [381] und so Piddingtons Vermutung [382] bekräftigen zu können geglaubt, dass nämlich der Elektromagnetismus in Beziehung zu dem gyratorischen Charakter vieler Luftströmungen stehe. Wir ziehen es vor, diesem Gedankengange anlässlich der Lehre vom Hagel (in §. 16) näher zu treten.

§. 14. **Die mechanischen Bedingungen der Gewitterentstehung und Gewitterfortpflanzung.** Jene Art von Stürmen, welche ohne starke Elektrizitätsentwickelung nicht wohl zu denken sind, bezeichnen wir als Gewitter. Wir weichen in dieser Definition also ab von Engelenburg [383], der auch in diesem Falle noch die elektrischen Erscheinungen als sekundäre, begleitende auffasst. So viel aber ist sicher, dass, selbst wenn (Kap. IV, §. 10) die Erklärung der Gewitterelektrizität vollständig gelungen wäre, was ja noch kaum einzuräumen sein dürfte,

gleichwohl noch ein völlig geschlossener Zyklus von Problemen übrigbliebe, der rein mechanischer Natur ist und ohne jede Herbeiziehung der Elektrizitätslehre erforscht werden kann und will. Nach dieser Seite hin gibt eine zweite Abhandlung [384] des genannten niederländischen Gelehrten manche wertvolle Anregung. Von besonderer Wichtigkeit wurde für das Studium der Gewitter die von Mohn [385] getroffene Unterscheidung aller dieser heftigen Luftbewegungen mit Blitz und Niederschlägen in Wärme- und Wirbelgewitter. Wenn man auch jetzt der Ansicht ist, dass die Art der Entstehung eines Gewitters eine noch viel abwechselungsreichere sein kann, so haben wir doch immerhin ein gutes Recht, die Mohnsche Klassifikation zum Ausgangspunkte zu nehmen.

Die Darlegungen dieses Paragraphen nehmen folgenden Gang. Wir untersuchen zuvörderst, welche Bedingungen in der Atmosphäre statthaben müssen, damit diejenige Form von Zyklonalbewegung sich herausbilden kann, mit welcher wir es eben hier zu thun haben. Die in der Tropenzone heimischen und auch unseren heissen Sommern nicht ganz fremden Wärmegewitter wären nach der früheren Ansicht einfache Konsequenzen eines Luftauflockerungsprozesses (S. 189), und damit würde sich das Auftreten von Blitz und Donner gut vereinbaren lassen, da eben, die Sohnckesche Hypothese (S. 158) zu Grunde gelegt, der aufsteigende Luftstrom viele Wasserteilchen in die — tief herabreichende — Eisregion hinaufführen müsste. Die Wirbelgewitter dagegen sollten Konsequenzen eines Sturmes sein, der mit grosser Geschwindigkeit über die Erde dahinbrauste. Dies wird sich nun auch als richtig herausstellen, aber nicht der Hauptwirbel ist es, der speziell die charakteristischen Erscheinungen mit sich führt, sondern deren Sitz ist stets eine Partialdepression (S. 210), welche der grossen Zyklone untergeordnet ist. Nachdem diese beiden Punkte erledigt sind, werden wir uns noch mit der Art des Fortschreitens der Gewitter und mit den Umständen zu beschäftigen haben, welche diese progressive Bewegung im günstigen oder ungünstigen Sinne beeinflussen.

Der Unterschied zwischen den beiden Hauptgattungen der Gewitter ist kein durchgreifender, sondern es gibt mehr nur die Energie der sinnenfälligen Folgeerscheinungen nach der einen oder anderen Seite hin den Ausschlag; Zwischenformen sind stets vorhanden, wie dies besonders eine genauere Prüfung der skandinavischen Gewitter gelehrt hat [386]. Nach dem speziellen regionalen Auftreten würde man, so meint v. Bezold [387], ein gegebenes Gewitter bald der einen, bald der anderen Kategorie zuzuweisen sich gedrängt fühlen. Allein wenn wir auch die Wirbelgewitter als eine Klasse für sich unangetastet bestehen lassen, müssen wir doch hinsichtlich der zweiten Klasse verschiedene Unterabteilungen von einander sondern.

Aus den Resultaten von Reye, von Davis und aus seinen eigenen abstrahiert v. Bezold [388] viererlei verschiedene Unterklassen der thermischen Gewitter, und Leyst [389] hat denselben noch eine fünfte hinzugefügt, die sich aber vielleicht auch nur als eine schärfere Begriffsbestimmung der einen von jenen vier hinstellen liesse. Gemeinschaftliche Vorbedingung ist das Bestehen labilen Gleichgewichtes in der Luft, abhängig von rascher Temperaturabnahme mit der Höhe (s. S. 205). Wenn dieser Gleichgewichtszustand vorliegt, so kann als letzter Grund für die Auslösung eines Wärmegewitters gelten: Ueberhitzung der unteren Luftschichten; starke Abkühlung der oberen Schichten; Ueberkältung des atmosphärischen Wasserdampfes (S. 26); Uebersättigung der Atmosphäre mit Wasserdampf. Jene ungewöhnliche Abkühlung kann nach Leyst (s. o.) durch Aenderung des Aggregatzustandes niedersinkender Hydrometeore hervorgebracht werden. Die Frage, ob eine feuchte Luftmasse unter gewissen Umständen noch mehr Wasserdampf aufzunehmen vermöge, als nach den früher (S. 23) angegebenen Bedingungen möglich erscheint, wird thatsächlich bejaht werden

müssen; dafür sprachen die Versuche von Aitken, v. Bezold, Richarz, Elster und Geitel [390]. Wenn atmosphärische Luft völlig staubfrei ist und sowohl gegen chemische Einwirkungen wie auch gegen mechanisches Durcheinanderrütteln geschützt wird, so kann sie durch blosse adiabatische Expansion (S. 22) bis über ihren Taupunkt hinaus Wasser in sich aufnehmen. Die bei Gewittern dann und wann zu beobachtenden Barometersprünge will insbesondere v. Bezold [391] auf jähe Aenderung des zuvor durch Uebersättigung oder auch durch Ueberkühlung geschaffenen Zustandes zurückgeführt wissen. Grossmann spricht [392], im Gegensatze zu den Wärmegewittern, direkt von Kältegewittern. Wir sehen also, dass recht mannigfache Momente, einzeln und kombiniert, ein Gewitter zu erzeugen im stande sind, und dem Studium des besonderen Falles wird es überlassen bleiben müssen, den Charakter nach Möglichkeit festzulegen, wie dies etwa für ein alpines Gewitter des Jahres 1892 von Prohaska [393] versucht worden ist.

Die wechselnden Wärmeverhältnisse in der Atmosphäre spielen unseren bisherigen Ermittelungen zufolge bei der Gewitterbildung eine massgebende Rolle, und da für den Wärmestand die Sonnenstrahlung bestimmend ist, so darf man von vornherein eine tägliche und eine jährliche Periode der Gewitter in Aussicht nehmen. Die Annahme trifft denn auch zu [394]; während im Winter die Gewitterhäufigkeit sich ziemlich gleichmässig über den Tag verteilt, sind dieselben in der warmen Jahreszeit am seltensten in der Nacht, am häufigsten einige Stunden nach Mittag, und zumeist sind auch die Sommergewitter bei weitem zahlreicher, als die Wintergewitter (S. 147). Wenn in nördlichen Ländern (Nordschottland, Island) dieses Verhältnis sich umkehrt, so trägt daran das dort obwaltende Vorherrschen der Wirbelgewitter vor den Wärmegewittern die Schuld. Wintergewitter gelten mit Grund in der Regel für gefährlicher, schon deshalb, weil in dieser Jahreszeit die Wolken sehr tief liegen, und dann auch deshalb, weil die gyratorische Energie die wechselseitige Reibung der flüssigen und festen Wasserteilchen (S. 158) verstärkt. Auch die Zugsrichtung der Gewitter lässt ein periodisches Verhalten erkennen; so sind in Wien nach Hann [395] Ostgewitter im Spätsommer äusserst selten. Eine doppelte Periodizität ist bezüglich der Frequenz schon durch Prestel [396] wahrscheinlich gemacht, durch Hellmann [397] aber bewiesen worden; in den ersten Stunden nach Mitternacht ist ein schwächeres Maximum nicht zu verkennen, weil alle Stürme, also auch die Wirbelgewitter, um jene Zeit eine Verstärkung erfahren [398]. Schultheiss fand [399], dass sich dieses sekundäre Maximum nur in den Sommermonaten kräftig ausprägt, dass es dagegen im Oktober nur gerade noch wahrnehmbar ist und späterhin sich ganz verwischt. Die Geschwindigkeit der Gewitter ist in den Nachmittagsstunden und an der Südseite der Alpen besonders gering, was dem Einflusse der zahlreichen Wärmegewitter zuzuschreiben ist [400]. Sehr vertrauenswürdige Ergebnisse hat uns Langs [401] Analyse des Auftretens von nicht weniger denn 787 Gewitterzügen geliefert. Die Geschwindigkeit erreicht ihr stärkeres Maximum im Winter, während ein schwächeres zeitlich unbestimmter ist; dagegen fällt das absolute Minimum, deutlich ausgesprochen, in den Frühling, und ein sekundäres in den September. In Süddeutschland sowohl als auch in Frankreich erwies sich die mittlere Fortpflanzungsgeschwindigkeit ziemlich gleich, 41 km in der Stunde; Norwegen und Italien blieben hinter diesem Mittelwerte zurück. Westgewitter schreiten durchweg rascher als Ostgewitter fort, denn erstere bewegen sich nach Richtung und Geschwindigkeit so, wie (S. 216) die allermeisten Depressionen, und die von E kommenden Gewitter haben gegen die von W herannahenden Minima anzukämpfen.

Wer das Isobarensystem in der Nähe eines Gewitters betrachtet, bemerkt sofort, und zwar meist an der Vorderseite des Gewitterfeldes (S. 217) eine charakteristische Ausbauchung der Linien gleichen Luftdruckes. Dies ist die Gewitternase (wohl auch Gewittersack); ein bezeichnender Ausdruck, welchem wir zuerst in einer Abhandlung von A. Krebs [402] begegnet zu sein glauben. Unbedingt notwendig ist diese Beigabe nicht, aber sehr häufig; in jenem Raume ist eine Teilzyklone lokalisiert, um welche die Luft in bekannter Weise rotiert (S. 191), während die Hauptzyklone in translatorischer Bewegung begriffen ist.

Wahrscheinlich annektiert das fortschreitende grössere Minimum ein stabiles kleineres, welches sich auf des ersteren Wege befand, und der Konflikt, in welchen die beiden Rotationssysteme geraten, mag die nächste Ursache der Gewitterbildung, des Auflockerungsvorganges, des schüchternen Steigens (S. 220) und nachherigen raschen Fallens des Barometers sein. „Jedes Gewitter," so äussert sich Ciro Ferrari [403] auf Grund eines sehr stattlichen Erfahrungsmateriales, „tritt mit einer kleinen mitwirkenden Depression auf, in deren hinterem Teile es verbleibt." Aus Horns [404] einschlägigen Untersuchungen folgt, dass flache Depressionsmulden oder Furchen zwischen zwei Sätteln mit Vorliebe als Ort von Gewittern auftreten. Darin, dass als weiteres unterstützendes Moment hohe Temperatur nebst geringen Luftdruckdifferenzen in der Umgebung — also kleinen Gradienten (S. 190) — hinzutritt, stimmen Horn und Engelenburg (s. o.) überein.

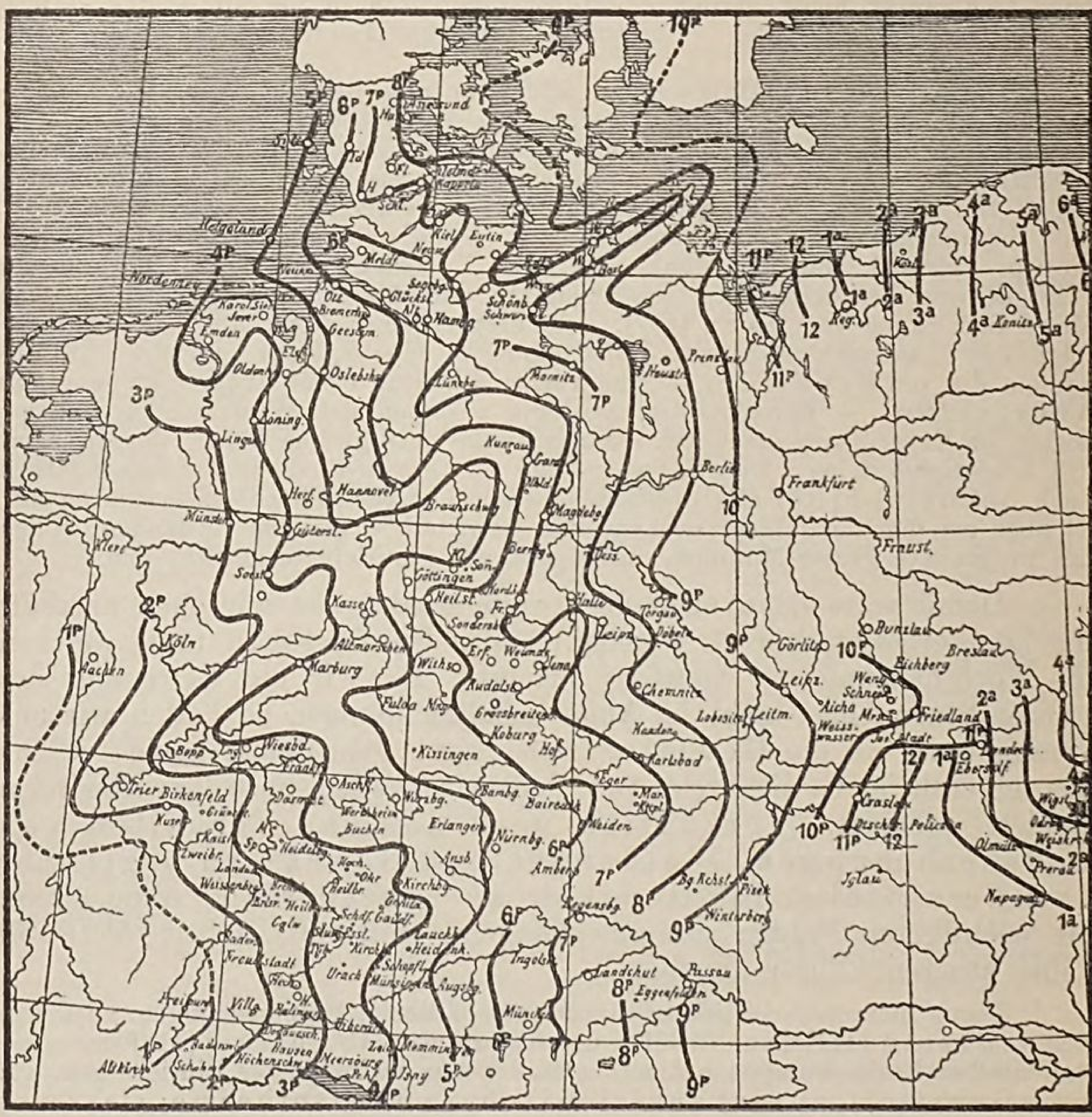
Die Art der Gewitterbewegung ist, wenn man bedenkt, wie viele konkurrierende Einflüsse sich da geltend machen, als eine recht verwickelte zu erachten. Prohaska hält sich überzeugt [405], dass an der Vorderseite des fortrückenden Gewitterfeldes die Luft sich nach abwärts bewegt; aus den untersten Luftschichten strömt Luft in einer der Hauptbewegungsrichtung entgegengesetzten Richtung ab, und andere sinkt zum Ersatze von oben nach. Gerade für die Partialwirbel, welche hier in Betracht kommen, dünkt uns auch E. Schneiders [406] Theorie der Wirbelstürme beachtenswerte Gesichtspunkte darzubieten. Anknüpfend an eine ältere Bemerkung von Hann [407], geht diese Theorie davon aus, dass stets infolge des Zusammenstosses von Luftströmungen eine Zyklone entstehe. Ob allgemein die von Schneider — und vorher schon in etwas anderer Fassung von Andries [408] — durchgeführte Analogie zwischen den Wirbelwinden und gewissen im Experimente erzeugten Wasserwirbeln Platz greifen könne, das erscheint uns keineswegs sicher; jener Druck- und Saugwind, deren Zusammenwirken nach Schneider [409] alle dynamisch-meteorologischen Phänomene erklären soll, ist aber bei den Partialdepressionen einer Gewitterböe wirklich vorhanden, indem das progressive grosse Minimum aufsaugend auf das kleinere gewirkt hat.

Damit wäre denn auch der zweite Punkt, den wir oben namhaft machten, erledigt, und wir wenden uns den Umständen zu, unter welchen die Fortpflanzung der Gewitter erfolgt. Da wir die Bewegung des ganzen Sturmfeldes nicht im Auge behalten können, so halten wir uns vorzugsweise an die Gewitterfront, jene gekrümmte Linie, welche das eigentliche Gewitterfeld von dem einstweilen noch gewitterfreien Gebiete scheidet. Vorzüglich wird auf das Verhalten von Bodenerhebungen, Waldungen und Gewässern gegenüber dem heranziehenden Gewitter zu achten sein. Eine ältere, die wichtigeren Fragen zusammenhängend erörternde Arbeit [410] soll dabei unseren Führer abgeben.

Durch mehrere, zeitlich nahe zusammenfallende Untersuchungen, zu denen sich v. Bezold [411] hauptsächlich der bayerischen, C. Ferrari [412] der oberitalienischen Beobachtungen bedient hatte, ist man zu folgender Einsicht gelangt: Jede Gewitterfront ist zugleich Isobare und Isotherme; sie trennt je zwei Gebiete hohen und niedrigen Druckes, niedriger und hoher Temperatur von einander. Ueber die in Italien, vorab in der Poebene, sehr bestimmt und belehrend auftretenden Verhältnisse orientiert namentlich auch ein Aufsatz von Lang [413]. Es lässt sich nun aber auch der erwähnten Scheidungskurve noch eine weitere und wichtige Seite abgewinnen, welche bei der Organisation des Gewitterdienstes zu Tage tritt. Derselbe hat zuerst in Bayern, unter v. Bezold und Lang [414], jene feste Gestaltung angenommen, welche seitdem von einer ganzen Reihe anderer Staaten adoptiert worden ist. Alle Freunde der Sache, welche sich zur Teilnahme am Beobachtungsdienste bereit erklärt haben, erhalten durch Vermittelung der Zentralstation Korrespondenzkarten mit aufgedrucktem Formulare; die Zeilen desselben werden von den meteorologischen Stationen (s. u. in Kap. XI) nach Möglichkeit ausgefüllt, und so geht die Karte portofrei an die Zentralstelle zurück, welche die Bearbeitung vornimmt. Wetterleuchten, eigentliche Blitze, Donnerschläge, Regen, Hagel, Windrichtung und Windstärke werden notiert. In Italien betrachtet man [415] als typisch für den Gewitter-

verlauf den geometrischen Ort der Punkte, in denen das Gewitter seinen Höhepunkt („fase massima") erreicht hat, aber in Deutschland hat man es für vorteilhafter gefunden, die Verbindungslinie der Orte, welche gleichzeitig den ersten Donner vernahmen, als Norm zu wählen. Man nennt dieselbe häufig Isobronte, allein das Wort ist schlecht gebildet, weil es so viel als Kurve gleicher Stärke des Donnerschlages bedeuten würde; vorzuziehen ist Homobronte (ὅμος, gleichzeitig; βροντή, Donner). Ob man nach italienischer oder deutscher Art zu Werke geht, bleibt sich erfreulicherweise ziemlich gleich-

Fig. 53.



4 p Anziehen und nachher Zurückhalten des Gewitters durch Hundsrück und Taunus, südlicher durch den Odenwald.
5—7 p Desgleichen durch den Harz und durch den Thüringerwald.
6 u. 7 p Uebergang über die Elbe mit gleichzeitigem Gewitterbeginn auf beiden Ufern.
9 p Unterbrechung der Gewitterfront durch die Elbe.
6 p Desgleichen durch die Donau.
10 p—2 a Anziehen durch das Riesengebirge.

gültig, denn es gilt der Erfahrungssatz: Die erste Homobronte fällt mit der Gewitterfront zusammen und ist eine Parallelkurve zur Linie der Maximalphase. Man ersieht hieraus, wie viele beachtenswerte Eigenschaften der sich stetig verschiebenden Scheidegrenze des bewegten Gewitterfeldes und des noch unberührten Gebietes anhaften. Es ist sehr wahrscheinlich, dass die hier beschriebene einfache und natürliche Art der Gewitterkontrolle mehr leistet, als eine noch so geistvoll erdachte maschinelle Vorrichtung; wir denken dabei an das Brontometer von Symons [416], durch welches die einzelnen Momente und Phasen eines Gewitters zeitlich genau fixiert werden sollen.

Die in regelmässigen Abständen konstruierten Homobronten vergegenwärtigen uns auf der Karte den Fortgang und das allmähliche Erlöschen des Gewitters, geben uns aber auch Aufschluss über begünstigende und hemmende Momente. In Fig. 53 ist gemäss dem Diagramme, welches Börnstein [417] von einer gewaltigen Gewitterböe des 16. Juli 1884 entworfen hat, der Gang eines Gewitters durch ganz Deutschland dargestellt; die Homobronten entsprechen dem Beginne der einzelnen Tagesstunden. Solange die Sonne hoch stand und durch ihre Hitze der aufsteigenden Luftbewegung Nahrung gab, welche die Bildung der Zyklone förderte, war die Gewitterfront kräftig entwickelt, während sie bei Einbruch der Nacht gewissermassen auseinanderriss und nur noch am Ostseestrande, sowie in den Sudetenländern erkennbar blieb. Auch fällt ins Auge, dass da, wo nicht Terrainverschiedenheiten sich stark vordrängen, der Verlauf benachbarter Homobronten ein ganz paralleler ist. Der Gang eines barometrischen Selbstregistrators (S. 58) trägt nach Börnstein [418] wesentlich zur Kontrolle und allfallsigen Fehlerausmerzung der kartographischen Darstellung bei.

Die Bodenbeschaffenheit also übt, wie schon gesagt, einen nachhaltigen Einfluss auf die Gestalt und gelegentliche Deformation der Homobronten aus. Oertliche Verhältnisse können wohl einen Platz geradezu gewitterimmun machen; Linz an der Donau z. B. soll in diesem Falle sein [419], angeblich deshalb, weil die heranziehenden Böen durch die ringsum gelegenen, waldbewachsenen Höhen abgelenkt würden. Dass in der That ausgedehnte Wälder den Gewitterzug richtend beeinflussen, will Künzer [420] in dem ausgedehnten Forstterritorium der Provinz Westpreussen konstatiert haben. Wenn sich im rechtsrheinischen Bayern, wie dies bei v. Bezolds [421] Blitzforschungen (vgl. S. 147) klar wurde, zwei scharf markierte Gewitterstrassen unterscheiden lassen, so ist daran auch die Art der Bodenkultur beteiligt; neben den Zugstrassen gibt es auch Gewitterherde, und einen solchen Herd repräsentiert z. B. die bayerisch-schwäbische „Moränenlandschaft" (s. u. in Abteil. VIII, Kap. III), indem namentlich die nähere Umgebung der Vorlandseen — Ammer-See, Würm-See, Chiem-See —, den von der bayerischen Zentralstation herausgegebenen Karten zufolge, besonders viele Gewitter aufweisen. Diese Kärtchen, welche die spezifische Gewitterfrequenz Süddeutschlands dadurch zum Ausdrucke bringen, dass alle Landstriche, welche innerhalb eines gegebenen Zeitraumes bezüglich unter 20, 20 bis 30, 30 bis 40, über 40 Gewitter zu verzeichnen hatten, eine verschiedene Schraffur erhielten, sind überhaupt recht lehrreich. Seen, Sümpfe und Moore wirken demzufolge entschieden in dem Sinne, dass die Disposition für ein Gewitter sich leichter ausbildet, und zwar um so eher, da in diesem Falle, wie wir erfuhren (S. 211), jene Vorgebirgsgegend auch ungemein häufig von sekundären Seitenwirbeln grösserer Depressionen heimgesucht wird. — Flüsse, deren Laufrichtung ungefähr auf der Fortschreitungsrichtung des Gewitters senkrecht steht, wirken nach Börnstein (s. o.) verzögernd; schwache Gewitter können durch einen solchen Wasserlauf vorzeitig vernichtet werden, während stärkere sich erst durch längeres Verweilen an dem zuerst erreichten Ufer Kraft sammeln müssen, um die Wasserfläche zu überschreiten. Gewiss ist dafür, dass sich nicht selten die Homobronte dem Flusslaufe anschmiegt, mit v. Rohr [422] teilweise auch die orographische Verschiedenheit der Flussufer verantwortlich zu machen, wie denn auch Schmidt [423], als auf einen Hemmungsgrund, darauf aufmerksam gemacht hat, dass zwischen der Elektrizität der Wolken und derjenigen, welche durch Influenz im feuchten Erdreiche entsteht, Abstossung eintreten muss. Der Hauptsache nach ist aber doch an absteigende Luftströme zu denken, welche über dem Wasser immer zu finden sind und der dem Gewitter die Bahn brechenden Luftauflockerung entgegenarbeiten; die Luftschiffer kennen solche „Anziehung des Ballons durch Wasser" — auch durch Sumpfgegenden — nur zu gut als eine Benachteiligung in wasserreichen Landstrichen. Sehr grosses Interesse bieten hier die eine gründliche aëronautische Erfahrung verratenden Mitteilungen von Erk [424]. Derselbe sah, dass sanft eingeschnittene Flussthäler mit allen Windungen sich auf der Wolkendecke abzeichneten; damit ist der strenge Beweis dafür erbracht, dass wirklich ein direkter Kontakt zwischen Wolken und Gewässern stattfindet, der sich auch in der Gewitterbewegung offenbaren muss. — Die Abhängigkeit der Gewitterfront vom Oberflächenmodelle endlich ist durch Börnstein (s. o.) und H. Meyer [425] ausser Zweifel gestellt worden. Bodenerhebungen wirken stets verzögernd; isolierte Kuppen werden vom Gewitter umgangen; Gebirge können ein unüberschreit-

bares Hindernis abgeben. Ein einzeln aufragender Berg erscheint so äusserlich geradezu als ein Attraktionszentrum für Gewitter, wie dies der Luzerner Naturforscher Segesser schon im XVIII. Jahrhundert für den Pilatus (S. 28) behauptete [426]. Während die Gewitterfront in der Ebene fortschreitet, staut sich die Bewegung an der Erhöhung, bis wieder hinreichend lebendige Kraft gewonnen ist, um es entweder zu überschreiten oder, der gewöhnliche Fall, zu umgehen. Vettins schöne Versuche (S. 203) hat Börnstein so umgeändert, wie es die Veranschaulichung der Gewitterfortpflanzung erheischte; krenelierte Brettchen entsprachen den Gebirgen, schmale Eisstreifen den Flüssen. So konnte man im kleinen sehen, wie der in das Versuchsgefäss gegebene und durch Erwärmung in Zyklonalbewegung versetzte Tabakrauch sich vor den Hindernissen verhielt, und dass er dieselben in ähnlicher Weise zu überwinden versuchte, wie es die wirbelnde Luft einer Gewitterböe in der Natur zu machen pflegt.

§. 15. **Der Hagel.** Als wir in Kap. I, §. 11 die wässerigen Luftmeteore klassifizierten, schlossen wir den Hagel (grêle, hail, grandine) einstweilen von der Betrachtung aus, weil an eine Erklärung desselben mit den damals allein bekannten atmosphärischen Eigenschaften nicht zu denken war. Zwischen Hagel auf der einen Seite, Eisregen und Graupelfall (S. 40) auf der anderen besteht ein tiefgreifender Gegensatz. Mechanisch insofern, als Hagelfall nur in Verbindung mit Sturmböen und Gewittern auftritt; morphologisch insofern, als die Hagelkörner oder Schlossen zum öfteren die bizarrsten Formen besitzen. Hier soll zunächst nur von den äusserlich wahrzunehmenden Erscheinungen und Eigenschaften des Hagelschlages die Sprache sein; eine Erklärung, soweit solche überhaupt möglich, wird in §. 16 angestrebt werden.

Es versteht sich ganz von selbst, dass die Lehre vom Hagel in allen meteorologischen Kompendien einen mehr oder minder umfänglichen Platz eingeräumt erhalten hat. Für die ältere Zeit gewährt, wie gewöhnlich bei allgemeinen physikalisch-geographischen Fragen, eine sehr schätzenswerte Uebersicht der bezügliche Lexikonartikel von Muncke [427]. Neuerdings ist auch eine selbständige Schrift darüber von Russell [428] erschienen, in welcher nur die vielen deutschen Beiträge zur Lösung der Frage nicht zu ihrem vollen Rechte gekommen sind. Sehr nützlich erweisen sich auch die beiden ausführlichen geschichtlichen Darstellungen, welche wir von Baurmeister [429] und Wähner [430] erhalten haben.

Hagelschlag ist immer als ein in engen Grenzen lokalisiertes Vorkommnis zu erachten [431]; dasselbe tritt strichweise auf, und der verhagelte Bezirk hat fast durchweg die Gestalt eines schmalen Bandes. Bei dem französischen Hagelwetter vom 13. Juli 1788, einem der schlimmsten, von denen die Annalen zu berichten wissen — man hat die Gesamtmenge des gefallenen Eises auf 400000000 kg berechnen wollen —, waren zwei Streifen von geringer Breitenausdehnung, aber mindestens 445 km lang, hart betroffen worden [432]. Natürlich kann, wenn eine solche Eismasse rasch schmilzt, eine pötzliche Ueberschwemmung entstehen, die aber ebenso schnell wieder abläuft [433]. — Sehr zuverlässige Nachrichten über Hagelschläge hat man im Königreiche Bayern, welches einmal seit 1885 eine staatliche Hagelversicherung besitzt, und dessen meteorologische Zentralanstalt zum anderen einen trefflich funktionierenden Hagelkorrespondenzdienst, in Verbindung mit den offiziellen Gewittermeldungen (s. o.), eingerichtet hat. Die Bemühungen von C. Lang, Horn und Tillmann [434] auf der einen, der Beamten der Versicherungskammer auf der anderen Seite lieferten uns wertvolle Aufschlüsse über den Zusammenhang von Gewittern und Hagelfällen, sowie über die der Verhagelung am stärksten ausgesetzten Distrikte, welche die Assekuranzgesellschaften kennen müssen, um danach Risiko und Prämie zu bemessen. Horn konnte für Süddeutschland feststellen, dass Gewitter- und Hagelhäufigkeit einander parallel gehen, und dass die Wintergewitter besonders häufig von Hagel begleitet werden. Dass jedoch Hagelgefahr und Gewitterfrequenz nicht immer parallel gehen, beweist [435] nach Sarrazin und Partsch der schlesische

Kreis Rosenberg, welcher ungemein gewitterreich ist, von Hagelschlossen aber weniger als die umliegenden Bezirke heimgesucht zu werden pflegt. Ein absolutes Maximum des Jahresganges tritt zu Ende des Frühjahres hervor, während die Maxima des März und November schwach ausgeprägt erscheinen. Die Tageskurve entfernt sich zwischen 3 und 4 Uhr nachmittags am weitesten von der Abszissenachse. Bezüglich der Periodizität schliesst sich Heck [436], mit Benützung der mühsamen Statistik der württembergischen Hagelschläge von Bühler [437], dem Ergebnis Horns mit dem Zusatze an: In den Uebergangsjahreszeiten fällt der Hagel ausgedehnter, in den Sommermonaten dagegen dichter. Inwieweit C. Langs [438] Andeutung einer elfjährigen Periode sich bewahrheiten wird, hat die Zukunft zu lehren, aber für unwahrscheinlich darf eine solche längere Periode auch nach den früher (S. 174) erwähnten Untersuchungen nicht gehalten werden.

Grösse und Form der Hagelkörner weisen die grössten Verschiedenheiten auf. Wenn wir auch den angeblich in Vorderindien um 1790 gefallenen Hagelklotz von der Grösse eines Elefanten oder den 11 Zentner wiegenden ungarischen Klumpen des Jahres 1882 zu den Uebertreibungen rechnen müssen [439], so ist doch so viel gewiss, dass die Schlossen ganz unerwartete Dimensionen annehmen können. Schon der nicht ungewöhnliche Fall, dass Eisstücke von der Grösse eines Taubeneies mit grosser Gewalt den Boden treffen, kann schlimme Folgen nach sich ziehen. — Was aber die Gestalt anlangt, so ist vielfach das Graupelkorn (S. 40) im Inneren der Schlossen wohl erkennbar, aber Zusätze und Anhängsel verzerren die Normalform oft in der merkwürdigsten Weise. So einfach, wie Schwedoff [440] den Prozess der Schlossenbildung erklärt, ist derselbe schwerlich, denn wenn die Oberfläche eines Hagelkorns stets als Niveaufläche einer flüssigen, mit Achsendrehung begabten Flüssigkeitsmasse erschiene, so liessen sich (I, S. 64) nur Kugel, Sphäroid, Sphäroidalsäule mit exzessiver Abplattung und körperliche Ringe erwarten, aber über diese stereometrische Formen geht der Befund denn doch zu wesentlich hinaus. Auch die Meinung von Delcros [441], man könne die bunte Vielheit der Körper auf eine dreiseitige Pyramide mit gleichseitigem sphärischem Dreieck als Grundfläche zurückführen, kann nur bedingt gebilligt werden. Nur dann, wenn ein sphärisches Gebilde vielleicht durch Stoss zerplatzt ist, wird sich jedes der Trümmer in tetraedrischer Gestalt zeigen, weil in der That Brenner [442] bemerkt haben will, dass, wenn eine Gesteinsmasse mit Pulver auseinandergesprengt wird, die Blöcke ein solches Bild zu gewähren pflegen. Im Gegensatze dazu gab einmal ein Durchschnitt durch die Hagelkörner als Schnittfigur reguläre Sechsecke [443]; ein andermal wurden Doppelkegel von je 3 g mittlerem Gewichte beobachtet [444]. Krystallinische Form ist gleichfalls keine Seltenheit; so hat Abich, der eine Monographie über kaukasische Hagelschläge veröffentlichte [445], derartig komplizierte Prismenverbindungen gesehen, wie sie uns Fig. 54 vors Auge führt. Krystallinischen Hagel beschrieben ferner auch Hagenbach-Bischoff und Merian [446]. Köppen, der eine Uebersicht über die verschiedenen Modalitäten gibt [447], hält die Versuche von Reynolds [448] für besonders beachtenswert; danach wäre ein Kegel mit abgerundeter Basis die Urform, an welche sich durch Gefrieren dampfförmigen und flüssigen Wassers fortwährend neue Teilchen ansetzten, und da Drehungen innerhalb der auf- und absteigenden Luftströme anzunehmen seien, so müsse man auch jene Seite der konischen Fläche, nach welcher hin das Eiswachstum besonders lebhaft erfolge, als wechselnd betrachten. Durch Anprall eines Nebelschauers von sehr niedriger Temperatur gegen einen festen Gegenstand wurden Hagelsteine von ziemlicher Grösse künstlich erzeugt. So sonderbare Warzenkörper, wie man sie hie und da findet, scheinen jedoch der Allgemeingültigkeit auch dieser Erklärung zu widersprechen. Fremdkörper sind zum öfteren in den Schlossen eingebettet wahrgenommen worden [449]. Insbesondere fand Hess [450], dass die den Hagelkörnern eigentümliche Trübung ihren Grund in zahlreichen Luftbläschen hat, welche das Eis umschliesst. In Fig. 55 und 56 sind einige typische Gestalten nach van Bebber abgebildet, wie ähnliche sich auch in der historisch frühesten Abhandlung über Hagelmorphographie von dem Nürnberger Arzte Wurffbain (1686) vorfinden [451]. Man wird zugestehen müssen, dass der heutige Stand unseres Wissens noch keine völlig befriedigende Einsicht in die Bildung der — von den Graupelkörnern doch wohl grundverschiedenen — Hagelschlossen ermöglicht.

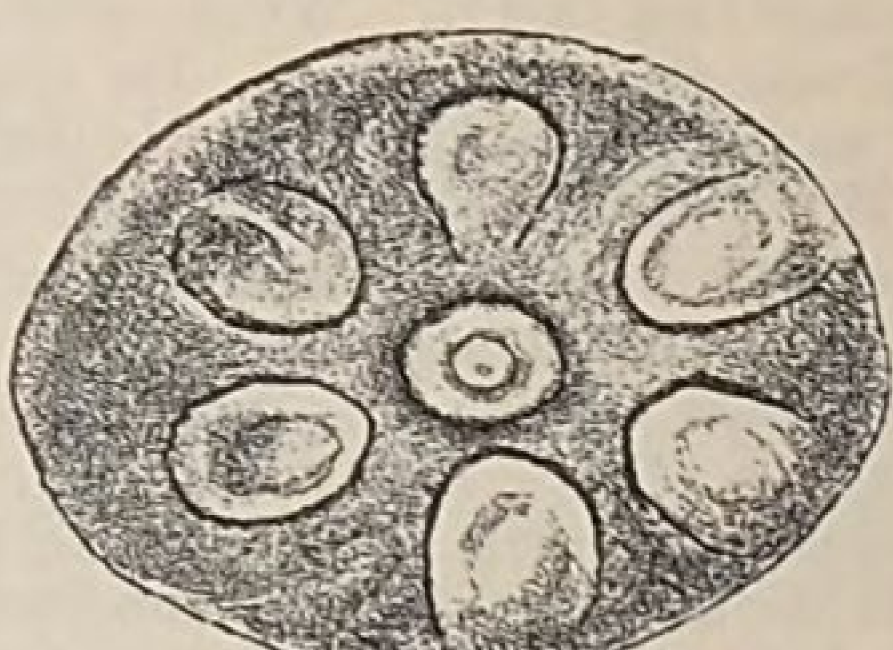
Auch unser geographisches Wissen über die regionale Verteilung der Hagelerscheinungen lässt noch viel zu wünschen übrig, aber es ist doch, dank den

bahnbrechenden Arbeiten von Fritz [452] und v. Danckelman [453], so viel festgestellt, dass kein ausgedehnterer Bezirk der Erdoberfläche für ganz hagelfrei gelten kann. Die heisse Zone sollte nach der früheren Ansicht, wie sie bei Humboldt [454] und, jedoch schon erheblich modifiziert, bei van Bebber [455] anzutreffen ist, nur sehr selten Hagelschlag erleben, aber heutzutage lässt sich nur das noch behaupten, dass der Hagel dort seltener als unter höheren Breiten ist. In Venezuela machte Ernst [456] 1886 ein sehr heftiges Unwetter mit, welches — ein seltenes Ereignis — farbige Hagelkörner lieferte. Die furchtbaren Wirbelstürme Australiens sind stets von heftiger Hagelentladung begleitet [457]. Auch kann davon keine Rede sein, dass die offene See zumeist verschont bleibe; dagegen sprechen schon die Angaben v. Danckelmans (s. o.), und Harris [458] hat aus den Logbüchern des „Meteorological

Fig. 54.



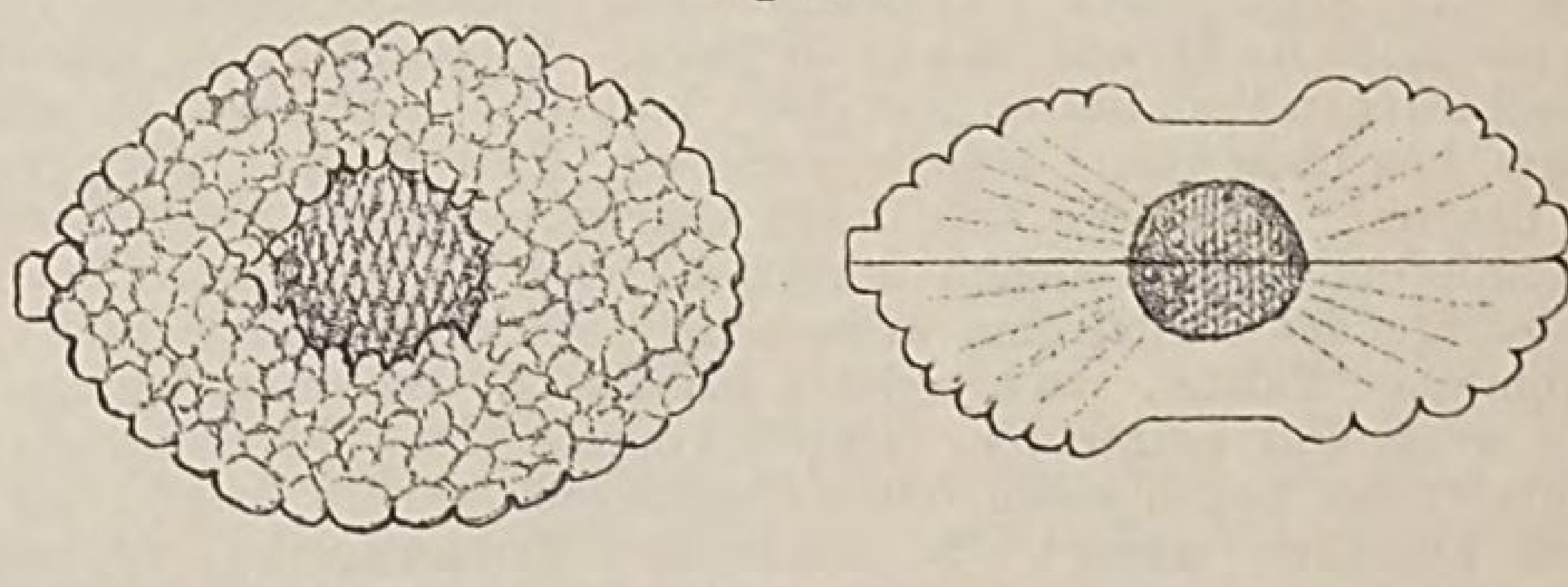
Fig. 55.



Office“ heraus dargethan, dass die Schiffe bis zum Aequator hin gelegentlich Hagelfall verzeichnen.

Auch dem Laien ist nicht unbekannt, dass eine Hagelwolke durch ihre weissgraue Farbe und durch eigenartige, zungen- oder hakenförmige Protuberanzen ihr Dasein verrät, noch ehe es zur eigentlichen Katastrophe gekommen ist. Man fühlt sich bei deren Anblick geradezu an Tromben (S. 220) erinnert; heftige Blitze und prasselnder Donner gehören nicht minder zu den immer wiederkehrenden Eigentümlichkeiten [459]. An eigentlichen Hagelschutz ist kaum zu denken, obwohl es an Versuchen, solchen ausfindig zu machen, niemals gemangelt hat. Schon Althellas kannte eine besondere Priesterkaste, die Hagelhüter [460] (χαλαζοφύλακες). Im XVIII. Jahrhundert beschäftigte man sich viel mit der Möglichkeit, Hagelableiter (paragrêle) zu konstruieren,

Fig. 56.



und aus Munckes historisch wichtigem Artikel [461] über diesen Gegenstand geht hervor, dass auch noch später von La Postolle [462], Orioli [463], Kornmann [464] — über dessen Abhandlung gibt Romstöck [465] Auskunft — solche Schutzmassregeln empfohlen wurden, deren Nutzen allerdings Placidus Heinrich [466], Fresnel [467] und Arago [468] mit guten Gründen bestritten. Eisenstangen, mit Pech bestrichene Stäbe, ja selbst blosse Strohseile sollten eine unschädliche Zerteilung der Hagelwolken bewirken können. Immerhin verdient der Umstand Erwähnung, dass ein Mann wie Dufour [469] sein Bedauern über das allzu rasche Vorgehen jener waadtländischen Gemeinden aussprach, welche nach einigen Misserfolgen ihre Hagelableiter wieder beseitigt hätten, ohne gründlichere Erfahrungen abzuwarten. — Eine mehr aktuelle oder, wenn man so will, dynamische Art des Schutzes erblicken weite Volkskreise im Hagelschiessen (vgl. S. 39

und 149). Angeblich sehr gelungene Experimente dieser Art wurden neuerdings beschrieben [470], und Trabert hat [471] die Sache unter dem theoretischen Gesichtspunkte beleuchtet. Trotz der optimistischen Angaben mancher Praktiker wird man doch gut daran thun, die Möglichkeit solchen Eingriffes in das Walten der Natur mit skeptischem Auge zu betrachten.

Eine viel erörterte Frage, die zum Schlusse noch behandelt werden soll, ist die, ob und inwieweit die Beschaffenheit des Geländes auf Hagelfrequenz und Hagelgefahr eine massgebende Einwirkung ausübt. Recht verschiedene Auffassungen stehen sich da gegenüber. Hie und da wird, wie Plumandon [472] auf Grund der im Departement Puy de Dôme verteilten Fragebogen berichtet, eine solche Einwirkung so gut wie ganz in Abrede gestellt; anderwärts betont man sie um so entschiedener. Vielleicht wird die auffällige Gegensätzlichkeit durch die von Hess [473] ermittelte Thatsache erklärt, dass das Bodenrelief nur dann seine Eigenart geltend macht, wenn die Hagelwolken nicht allzu hoch über dem Erdboden schweben. Und für gewöhnlich senken sich dieselben (vgl. S. 158) ziemlich weit herab.

Auch Bühler hat, wie in seiner grösseren Schrift (s. o.), so auch früher bereits [474] bemerkt, dass alle Nachrichten über Beeinflussung des Hagelzuges durch Wälder, Gebirge und Flussthäler nicht ohne weiteres überall zutreffen. Nach Hess (s. o.) wirkt ein Waldgebiet nicht verhütend, vielmehr eher im Gegenteile. Doch konnte der genannte Autor der schweizerischen Hagelstatistik immerhin auch einige mehr positive Anhaltspunkte entnehmen [475]. Feuchter Grund ist anscheinend dem Hagel günstig, während ausgesprochene Föhnthäler (S. 206) weit seltener heimgesucht werden. Heck (s. o.) fand, dass die Verhagelung eines Landes gerne den Thälern folgt, während der Wald sich ziemlich neutral verhält; mit letzterem übereinstimmend sprach es Lang [476] als seine Ansicht aus, dass ein Zusammenhang zwischen Forsten und Hagelhäufigkeit sich nicht nachweisen lasse, während in hügeligem Terrain mehr Hagel als in ebenem falle. Nach dieser letzteren Seite hin möchten Prohaskas [477] alpine Erkundungen von einiger Bedeutung sein. Kurz, man kann sich, wenn man die Verschiedenheit der Ueberzeugungen kennen gelernt hat, der Ueberzeugung nicht verschliessen: Für die Art und Weise, wie eine Gegend vom Hagel regelmässig betroffen wird, ist die Bodenkonfiguration dieser Gegend gewiss nicht gleichgültig, aber eine endgültige Beurteilung des Einflusses der Terrainbeschaffenheit ist zur Zeit noch nicht angängig. Dazu wird es noch vieler praktischer Ermittelungen bedürfen.

§. 16. **Hageltheorien.** An eine Theorie des Hagels, welcher man das Prädikat einer allseitig gebilligten beilegen könnte, ist auch noch lange nicht zu denken; einstweilen gibt es bloss Theorien, welche man zutreffender als Hypothesen bezeichnen würde. Für die ältere Zeit sind die in §. 15 angeführten Schriften, in Verbindung mit dem Gehlerschen Lexikon (s. o.), unsere beste Bezugsquelle; die Periode der letzten zwanzig Jahre hat so zahlreiche Versuche auf diesem Gebiete der atmosphärischen Physik gebracht, dass eine lückenlose Besprechung und Kritik derselben schwerlich schon möglich erscheint.

Aristoteles, dessen Anschauungen bis in das XVI. Jahrhundert herein keine ernstliche Anfechtung zu besorgen hatten, hielt dafür [478], dass die Eisklumpen in einem Luftschlauche eingeschlossen seien, welcher zerplatze, und damit würden erstere weitum in die Runde verstreut. Es wird sich zeigen, dass diese Erklärung Berührungspunkte mit modernen Erklärungen des Phänomenes darbietet. Die Araber lehrten [479], dass die Hagelkörner nichts anderes als zusammengefrorene Regentropfen seien; nur aus den oberen Schichten einer in die Eisregion aufgestiegenen Wolke stamme echter Hagel, aus den unteren bloss mit

Wasser vermischtes Eis. Erst seitdem die Elektrizitätslehre eine festere Gestalt angenommen hat, beginnt ein mehr selbständiges Nachdenken über das Problem der Hagelbildung, obwohl damit nicht etwa gesagt sein soll, dass nunmehr nur noch in der neuen Kraft der Schlüssel zur Lösung des alten Rätsels gesucht worden wäre.

Es ist nicht leicht, die vorhandenen Hypothesen nach gewissen generellen Gesichtspunkten zu ordnen, und wir wollen die nun folgende Einteilung keineswegs als eindeutig und einwurfsfrei, sondern lediglich als die verhältnismässig zweckentsprechendste angesehen wissen. Wir klassifizieren nach den physikalischen Ursachen und stellen an die Spitze die Elektrizität, welche von verschiedenen Naturforschern als die bei der Bildung der Schlossen massgebende Kraft betrachtet wird. Andere nehmen an, dass die abnorme Gestalt dieser Eisgebilde nur das Resultat einer besonders intensiven Kältewirkung sein könne, gehen aber darin auseinander, dass sie teilweise mehr der Verdunstungskälte, teilweise mehr überkühltem Wasser eine wichtige Rolle zuschreiben. Eine dynamische Theorie endlich legt bloss der unregelmässigen Bewegung der auf gewöhnliche Weise entstandenen Eiskügelchen im Inneren eines Luftwirbels Gewicht bei. Schwedoffs Ansicht (s. o.), dass der Hagel dem Weltraume entstamme, mag wenigstens Erwähnung finden; mit Stenzel [480] sind wir der Meinung, dass dann, wenn Meteorite, die ursprünglich aus Wasser- und Sauerstoff bestanden, beim Durchzuge durch unsere Atmosphäre sich in Eisstücke verwandeln könnten, doch an keine namhafte Elektrizitätsentwickelung zu denken wäre, ohne welche wir uns einen Hagelfall gar nicht vorzustellen vermögen. Nunmehr sollen die erwähnten vier Ursachen in der bestimmten Reihenfolge durchgesprochen werden.

a) **Elektrizität.** Die ältesten Versuche, den Gefrierungsprozess mit der dynamischen Luftelektrizität (S. 157) in inneren Zusammenhang zu bringen, dürften diejenigen von Musschenbroek [481], Monesier [482] und Beccaria [483] sein. Man hielt dafür, dass, solange die elektrische Abstossung die wässerigen Bestandteile zweier Gewitterwolken trenne, eine Vereinigung der Tropfen zu Eiskugeln nicht möglich sei; habe aber erst eine Reihe von Blitzen den Ausgleich herbeigeführt, so stehe der Kondensation und Eisbildung nichts mehr im Wege. Mongez [484] dachte an eine besondere elektrische Verdunstung, welche aufhören müsse, sobald sich eine erste Eiskruste zusammengeschlossen habe; später erklärte er selber diese Auffassung für unzureichend [485]. Delucs Hageltheorie [486] ging davon aus, dass die Elektrizität eigentlich nur eine andere Bethätigungsform der Wärme sei, und da also jeder Blitz den Wolken ein Quantum des — materiell gedachten — Wärmestoffes entziehe, so müsse ganz von selbst das atmosphärische Wasser zu Eis gerinnen. Lampadius [487] und Lichtenberg [488], welche sich ursprünglich der unter b) zu erörternden Auffassung zugeneigt hatten, wurden in Deutschland die Verfechter Delucscher Gedanken. Nachher aber fand am meisten Beifall die Erklärung Voltas [489], der das allmähliche Wachstum der Hagelstücke mit dem bekannten Vorlesungsversuche des elektrischen Puppentanzes in Parallele stellte; zwischen zwei Wolkenschichten, deren eine senkrecht über der anderen stehe, sollen die kleinen Eiskügelchen durch fortgesetzte Abstossung auf und ab steigen, bis sie durch neuen Eiszuwachs schwer genug geworden sind, um die abstossende Kraft der unteren Wolke zu besiegen und zu Boden zu fallen. Voltas Biograph Riccardi [490] berichtet, dass die diesem Gegenstande gewidmete Abhandlung, welche lateinisch geschrieben war, das grösste Aufsehen machte und bald ins Italienische und Französische übersetzt wurde. Als Gegner traten auf Bellani [491] und Prechtl [492]; der letztere wies rechnerisch nach, dass durch die Elektrisierung den Eiskörperchen unmöglich eine die Schwere überwindende Steigkraft erteilt werden könne. — In neuerer Zeit hat die Voltasche Lehre, allerdings in sehr moderner Umbildung, wieder Anhänger in Italien gefunden. Hierher gehört

Bombicci [493], der im übrigen den Hagel als sphäroëdrischen Zustand des gefrorenen Wassers definiert, indem Sphäroëder allgemein kugelige Gebilde von faserig-strahliger Struktur sein sollen. Mit Bombicci erklärt sich auch Raganti [494] einverstanden. Wohl die eigenartigste Fortbildung der Voltaschen Hypothese ist jedoch diejenige von Marangoni, mit deren Grundzügen wir durch Pernter bekannt gemacht wurden [495]. Verwertet wird dabei die von Faraday und Sohncke erwiesene Thatsache (S. 158), dass durch Reibung zwischen festem und flüssigem Wasser Elektrizität von namhafter Spannung erzeugt werden kann. Der Wind zieht nun, so wird weiter angenommen, die Wolke zu einer horizontalen Zunge aus, und die an deren Rändern sich befindenden Tropfen verwandeln sich in Dampf, wodurch Kälte erzeugt wird. Dieselbe bewirkt, dass andere Tropfen gefrieren; nunmehr reiben sich diese Schneeflocken an den gleichfalls noch in grosser Zahl vorhandenen Flüssigkeitskügelchen, und infolgedessen werden die äusseren, aus Schnee bestehenden Wolkenschichten negativ, die inneren positiv elektrisch. Ansätze zu Hagelkörnern sind jetzt in Menge vorhanden, und indem dieselben in welligen Linien der Bewegung der Wolke folgen, schlägt sich auf ihnen eine schneeige und wieder eine durchsichtige Eiskruste nieder, wobei diese Körper zu ausserordentlicher Grösse anwachsen können. Marangoni sucht dann aus den bekannten Formen der Schneekrystalle (S. 69) diejenigen der Hagelschlossen herzuleiten, von welch letzteren er sechs Normaltypen unterschieden wissen will. Den Einwurf Bellanis (s. o.), dass doch die Anzahl der erkennbaren Krusten stets viel kleiner als die Anzahl der ausgeführten Schwingungen sei, glaubt Marangoni durch die von Weyher (S. 222) in einer Trombe nachgewiesenenWirbelbildungen widerlegen zu können, welche regelmässige Pendelbewegungen der Eisklümpchen unmöglich machen sollen. Auch habe eine von Lecoq [496] auf dem Gipfel des Puy de Dôme (S. 60) angestellte Beobachtung derartige spiralige Bewegungen, wie sie der Versuch wahrscheinlich mache, auch in der Natur festgestellt. — In Konsequenz eines anderen Gedankenganges fasst Planté [497] die Elektrizität lediglich als primäre Ursache der Hagelbildung auf; das durch Bewegung zerstäubte atmosphärische Wasser verdampfe durch elektrische Entladung, und da diese in den hohen, kalten Regionen der Atmosphäre erfolge, so sei besonders reichliche Gelegenheit zur Kongelation gegeben. — Der Gedanke, dass bei der Entstehung des Hagels die Elektrizität einen aktiv mitwirkenden Faktor darstelle, wird sich schwer ganz abweisen lassen, zumal, wenn man hinzunimmt, dass durch Wachlowsky [498] dargethan ward, es lasse sich eine Zunahme der Hagelgefahr mit zunehmender Entwaldung oder natürlicher Waldabnahme konstatieren. Durch die Spitzenwirkung der Bäume wird eben auf die atmosphärische Elektrizität (S. 150) neutralisierend eingewirkt. Immerhin ist es notwendig, auch die anderen für einflussreich gehaltenen Momente, im Sinne unserer obigen Zusammenstellung, kennen zu lernen.

b) **Verdunstungskälte.** Dieselbe erscheint auch bei Marangoni (s. o.) als ein wichtiger Faktor, der allerdings für sich allein, ohne nachheriges Eintreten der elektrischen Aktion, nur Eiskugeln und keine Hagelgebilde liefern würde. Andere legen dagegen bloss auf die ungewöhnliche Kälte Gewicht, indem sie u. a. daran erinnern, dass das Wasser unter der Luftpumpe gleich gefriert, wenn der entstehende Dampf rasch zur Absorption gebracht wird. Dieses ist, um nur ein paar Namen zu nennen, bei v. Buch [499] und Ideler [500] der Kern der Hageltheorie; in Deutschland hat anscheinend der jüngere Tob. Mayer [501] eine solche Vermutung geäussert, und Muncke [502] war bemüht, die Theorie noch weiter auszugestalten. Als eine geschichtlich merkwürdige Thatsache verdient die angemerkt zu werden, dass Muncke — wie in neuester Zeit (S. 224) v. Bezold, Elster und Geitel — annimmt, es könne Wolken geben, die „über den Sättigungspunkt mit Wasserdampf überladen" seien.

c) **Ueberkältetes Wasser.** Gewiss wird nicht geleugnet werden können, dass gelegentlich die nachstehend gekennzeichnete Anordnung der atmosphärischen Schichten eintreten kann: Weiter unten herrscht starke Feuchtigkeit, bis zur Sättigung der Luft (S. 23), und weiter oben ist die Trockenheit eine relativ bedeutende. Ein von unten kommender Luftstrom kann dann eine Mengung beider Luftschichten herbeiführen, und der überkältete Wasserdampf gerinnt zu Eiskörnern, welche sich zu Hagelschlossen aneinanderschliessen. Die von Olmsted hierfür verwertete Dovesche Windlehre (S. 179)

lässt diesen Vorgang auch dann sich abspielen, wenn ein Polar- und ein Aequatorialstrom sich gegenseitig durchdringen [503]. Dufour [504] und De la Rive [505] brachten die rasche Kongelation überkühlten Wasserdampfes mit den Hagelerscheinungen in Verbindung, wobei es ziemlich gleichgültig bleibt, dass sie sich (S. 21) jenen Dampf als aus Hohlbläschen zusammengesetzt vorstellten; auch K. A. Vogel [506], Fr. Vogel und Nöllner verfielen selbständig auf diese Hypothese, doch muss man die Ansichten der beiden letzteren, welche nichts darüber veröffentlicht zu haben scheinen, aus der sehr klaren Darstellung J. Müllers [507] abstrahieren. Auch Schwaabs Schriften [508] über den Hagel, durch besondere Berücksichtigung des historisch-litterarischen Elementes sehr beachtenswert, kommen auf die gleiche Grundannahme hinaus. Gegen dieselbe fallen zwei Erwägungen ins Gewicht. Erstens nämlich bleibt die Grösse und sonderbare Form der Schlossen so gut wie unerklärt, und zum zweiten wird dem Umstande zu wenig Rechnung getragen, dass die Wärme, welche durch Kondensation und Gefrierprozess frei wird, die Verdunstungskälte, welche sich an anderen Stellen bildet, teilweise aufwiegen muss. Letzteres ist namentlich von J. Müller [509] und Wähner [510] hervorgehoben worden. Derselbe rechnet auch [511] zu den hier einzubeziehenden Hypothesen diejenige von Renou, deren Hauptzug darin besteht, dass Wassertropfen selbst noch bei — 20° in der Luft sollen flüssig bleiben können.

d) Wirbelbewegung. Rein dynamisch war wohl zuerst die Theorie von Mohr [512], welche von der gewiss zutreffenden Voraussetzung ausgeht, dass jede Verdichtung von Wasserdampf eine bedeutende Raumverminderung herbeiführt, also ein Vakuum entstehen lässt. Indem höhere und kältere Luft in diesen Hohlraum nachstürzt, bildet sich innerhalb der hagelnden Wolke ein trichterförmiger Strudel von eiskalter Luft, gefrorenem und flüssigem Wasser, und innerhalb desselben werden die Embryonen der Schlossen so lange herumgewirbelt, bis sie durch stets erneute Eisauflagerungen gross genug geworden sind, um durch ihre Eigenschwere herabstürzen zu können. Auch hier gilt aber, und zwar erst recht, der Satz, dass die bis dahin latent gewesene Wärme durch die Verdichtung frei in die Erscheinung treten muss [513]. Jedenfalls liegt es, wenn einmal diese Auffassung vorwaltet, nahe, als Vakuumraum den Achsenschlauch einer Trombe zu postulieren; dahin zielen, bei aller sonstigen Verschiedenheit, die Hageltheorien von Reye und Faye (S. 222), und auch bei Gemmel [514], Andries [515] und Cousté [516] tritt uns als bestimmende Ursache die entgegen, dass feuchte Luft durch die Wirbelbewegung im Inneren der Trombe in die kälteren atmosphärischen Regionen emporgerissen wird, innerhalb deren die Wasserteilchen gefrieren. Die von Sprung [517] beifällig verzeichnete Anschauung Möllers [518], der die Hagelbildung nach Analogie der in den Kaltluftmaschinen vor sich gehenden Prozesse erklärt, deckt sich grundsätzlich ebenfalls mit der Wirbeltheorie, indem nur die Horizontalausdehnung der wirbelnden Luftmasse weit grösser zu denken wäre, als dies bei einer gewöhnlichen Wettersäule (S. 220) der Fall ist. Hess (s. o.) setzt den labilen Gleichgewichtszustand (S. 205) als unerlässliche Vorbedingung für das Zustandekommen eines Hagelwetters; je feuchter eine Erdstelle sei, je trockener somit die darüber in grossen Höhen befindliche Luft sein werde, um so weniger Anlass biete sich für die Schlossenbildung dar. Endlich wollen wir noch die aus einer übereinstimmenden prinzipiellen Auffassung hervorgegangenen Aeusserungen Engelenburgs [519] hier anführen. „Weil Druckzunahme und Abkühlung als Zwillingsschwestern immer Hand in Hand gehen, so glauben wir nicht zu irren, wenn wir als primäre Ursache der Abkühlung die schnelle Ausdehnung und die damit zusammenhängende Luftverdünnung im Zentrum der Temperaturerniedrigung betrachten, während Luftverdichtung ausserhalb vor sich geht. Dieser Vorgang ist am besten zu verstehen durch die Annahme eines horizontalen Luftwirbels, und in dieser Wirbelung ist sofort die Kraft aufgedeckt, welche den Hagel schwebend erhält und den Körnern ihre Gestalt und Struktur als Rotationskörper verleiht.“

Unsere thunlichst vollständige Uebersicht über die bisherigen Bestrebungen, dem Geheimnis der Hagelbildung physikalisch beizukommen, dürfte uns überzeugt haben, dass wir eine endgültig befriedigende Theorie, welche zumal über den Proteuscharakter der Schlossen Rechenschaft gäbe, noch nicht besitzen. Wirbelbewegung, Durchdringung

fester und flüssiger Wasserpartikeln und hochgespannte Reibungselektrizität müssen anscheinend als zusammenwirkende Ursachen zugelassen werden; zumal die Art der Mitwirkung der Elektrizität bedarf noch sehr der Klärung. Alles drängt so zur Aufstellung eklektischer, nicht lediglich mit einer einzigen Naturkraft operierender Theorien hin, wie denn in der That auch diejenigen, mit welchen Dary [520] und Tomlinson [521] in neuerer Zeit hervorgetreten sind, den Stempel des Synkretismus unverkennbar an sich tragen.

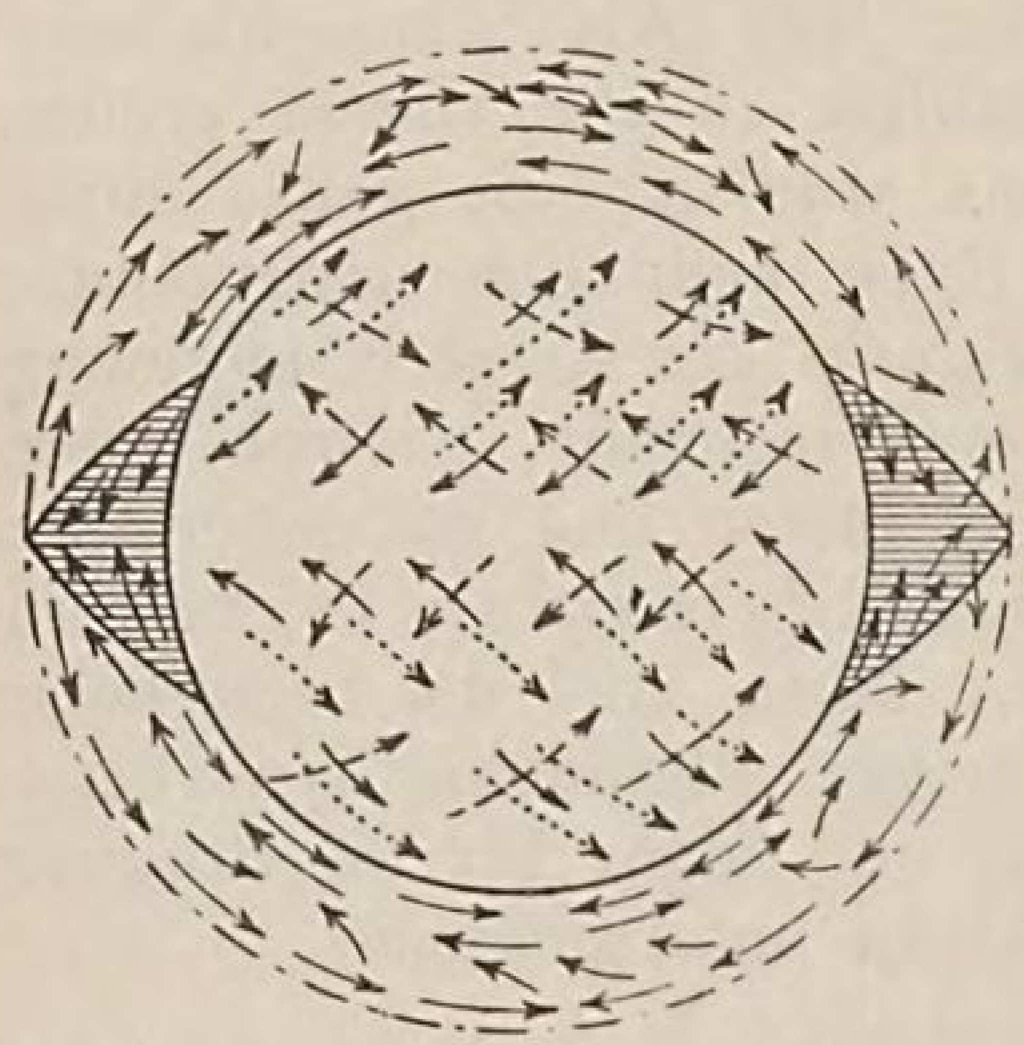
§. 17. **Atmosphärische Gesamtzirkulation.** Sämtliche Spezialprobleme der meteorologischen Dynamik haben, insoweit sich dies im Bereiche unseres Arbeitsplanes erreichen liess, vorstehend ihre Erledigung gefunden. Ausdrücklich wurde aber jede Art atmosphärischer Bewegungen, weil nur so ein erster Einblick in ihr Wesen eröffnet werden zu können schien, für sich allein studiert; die ganze übrige Luftmasse konnte ohne Nachteil als in Ruhe befindlich angenommen werden. Jetzt ist es, nachdem wir am Schlusse des Kapitels angelangt sind, an der Zeit, eine der Natur nicht entsprechende, wiewohl hodegetisch notwendige Beschränkung fallen zu lassen und von einer ganz anderen Seite her an das Problem der allgemeinen terrestrischen Luftzirkulation heranzutreten. Noch sind die bezüglichen Untersuchungen stark im Flusse, aber einige allgemeine Wahrheiten hat die Forschung doch bereits gewonnen, und sogar für die Prognose sind diese neuen Forschungsresultate nicht zu unterschätzen.

Sprung bemerkt [522] zutreffend, dass bereits bei Hadley und Dove (s. in §. 1) die Annahme einer Fundamentalzirkulation in Gestalt je eines meridional gerichteten Strömungssystemes für jede Erdhalbkugel deutlich hervortrete; der Gedanke war auch seinem innersten Wesen nach gewiss kein falscher, nur die Folgerungen daraus erwiesen sich teils als unrichtig, teils als verfrüht. Als man letzteres eingesehen hatte, verlor man allzusehr das Vertrauen zu allen umfassenderen Spekulationen über Luftbewegung, bis Ferrel, unabhängig von seinem Vorläufer, dem nach G. H. Darwin als Begründer einer nur eben wenig in die Oeffentlichkeit gedrungenen Theorie dieser Art zu verehrenden James Thomson [523], und Werner Siemens [524] dasselbe aufs neue belebten. Pernter unterscheidet in seiner gemeinverständlichen Behandlung [525] des Zirkulationsproblems drei Perioden des Erkenntnisfortschrittes: In der ersten stellte die Dovesche Schule wesentlich korrekt die Kreislaufverhältnisse zwischen den Rossbreiten (S. 198) dar; die zweite Periode sah, wie erwähnt, von der Gesamtatmosphäre ab und klärte bloss die Bewegungszustände für die einzelnen Zyklonen und Antizyklonen auf; im dritten Zeitraume befinden wir uns gegenwärtig, und es wird nunmehr die Zirkulation auch für die höheren Breiten genauer untersucht.

Der Forschungsgang Ferrels war ganz der analytische. Durch Rechnung zeigte er, dass eine allenthalben gleich dicke Flüssigkeitsschicht, über die von gleichförmiger Oberfläche begrenzte feste Erdkugel gleichmässig verteilt, infolge der Strömungen, welche die ungleiche Wärmeverteilung bewirkt, nicht in der anfänglichen Anordnung verbleiben kann. Am Aequator tritt eine Einsenkung ein, und gleicherweise wird die Mächtigkeit gegen die Pole hin geringer, wogegen unter den Parallelkreisen von $\pm 35^0\ 16'$ eine Auftreibung der Flüssigkeitsmasse den grössten Wert erreicht. Wenn wir uns an die von Sprung [526] durchgeführte Bearbeitung der Ferrelschen Lehren halten, durch welche letztere an Klarheit entschieden noch gewannen, so können wir die allgemeine Luftbewegung folgendermassen als Folgesatz der zuletzt ermittelten Thatsache definieren [527]: „Die gesamte allgemeine Luftbewegung einer Hemisphäre repräsentiert einen grossen atmosphärischen Wirbel, in welchem die Zirkulation durch die konstanten Temperatur-

differenzen eingeleitet und unterhalten, durch die Erdrotation aber in bestimmter Weise modifiziert wird, und zwar so, dass die Rotation der Luftteilchen im inneren Gebiete des Wirbels in der gewöhnlichen Weise erfolgt: gegen den Uhrzeiger auf der nördlichen, mit demselben auf der südlichen Hemisphäre. Jeder der zwei Wirbel besitzt aber noch ein äusseres ringförmiges Gebiet mit entgegengesetzter Rotation; an der Grenze des inneren und äusseren Gebietes erfolgt durch Ferrels Zentrifugalkräfte eine Anhäufung von Luft und eine entsprechende Vergrösserung des Luftdruckes." Unsere Fig. 57 bringt nach Sprung [528] diesen Sachverhalt schematisch zur Anschauung. Aus den Barometerbeobachtungen bekannter Seefahrer und Reisender — Wilkes, James Ross, Schouw — leitet Ferrel [529] Bestätigungen für die Zunahme des Luftdruckes gegen den 35. Breitegrad hin ab. Erwähnt sei noch, dass derselbe auch die Bewegungsgeschwindigkeit als Funktion der Polhöhe darstellt [530], die Bewegungsgesetze der amerikanischen Wirbelstürme als Konsequenzen seiner generellen Theorie herleitet und schliesslich auch wertvolle Anwendungen auf die Ursachen der Meeresströmungen macht, worauf uns Abt. VI, Kap. V wieder zurückführen wird. In seiner Besprechung des populären Werkes von Ferrel legt Davis [531] hauptsächlich Gewicht darauf, dass die Möglichkeit des Abfliessens der Luft vom Gleicher gegen die Pole hin unzweifelhaft nachgewiesen wurde. Es sei gleich jetzt bemerkt, dass Abercromby [532] aus dem von ihm so genau verfolgten Wolkenzuge der Tropenzone eine direkte Bekräftigung des Ferrelschen Satzes gezogen wissen will. Allerdings fehlt es auch nicht ganz an Gegnerschaft. Möller [533] z. B. betont, dass nicht nur die Reibung bewegter Luft an rauher Unterlage weit grössere Werte erreichen könne, als sie der amerikanische Physiker zulassen wolle, und dass auch die Mischung verschiedener Luftschichten Friktionen aller Art hervorzurufen vermöge; wirklich fand auch Teisserenc de Bort [534], dass die mittlere Grösse der über dem Atlantischen Ozean gemessenen Gradienten (S. 190) sich zu dem aus Ferrels Rechnungen folgenden Mittelwerte wie 28 : 17 verhalte, was entschieden auf unzureichende Berücksichtigung der Reibungswiderstände hindeutet. Konsequente Beobachtung der Wolkenbewegung, nach Hildebrandssons Vorschlägen [535] zugleich auf afrikanischen und ostamerikanischen Inseln angestellt, werden uns ja noch manche verbesserungsfähige Punkte der Ferrelschen Windtheorie zu erkennen geben, allein der Kern der letzteren hat noch keine ernstliche Erschütterung erfahren.

Fig. 57.



Auch nicht durch die völlig selbständigen Aufstellungen von Siemens, der sich, auf eingehende mathematische Erörterung verzichtend, einzig nur auf das Axiom von der Erhaltung der Kraft stützte [536]. Sein Ausgangspunkt war, wie er selbst betonte [537], im wesentlichen ganz derjenige Doves: Ein mächtiger Aequatorialstrom ist Ursache und Träger der Luftdruckveränderungen, sowie auch der atmosphärischen Wirbelbewegungen; und dieser Strom selbst wieder ist bedingt durch das Beharrungsvermögen der stark erhitzten, kraft des äquatorialen Auftriebes in beschleunigte Bewegung versetzten Luft. Sämtliche Luftströmungen dienen in letzter Instanz nur dazu, einen indifferenten Gleichgewichtszustand der Gesamtatmosphäre wieder herzustellen, und je nach der Ausdehnung des Gebietes, für dessen Bereich eine örtliche Ueberhitzung eingetreten war, erfolgt auch die notwendige Temperaturausgleichung entweder durch rein lokale oder durch ausgebreitete Wirbelbewegungen. Siemens selbst glaubte einen gewissen Gegensatz zwischen seinen Aufstellungen und denen von Ferrel zugestehen zu müssen, indessen ist derselbe, wie Köppens Vergleichung beider darthut [538], nicht eigentlich vorhanden. Insbesondere spielt der nämliche charakteristische Parallelkreis des Maximums der Luftausbauchung bei beiden Forschern eine übereinstimmende Rolle; bei beiden tritt jener in der Richtung von Ost nach West sich nördlich und südlich um den Erdball schlingende Ring gleichmässig bewegter Luft hervor,

welcher in namhafter Höhe den Krakatau-Staub über die Erde wegführte (S. 112) und, wie Teisserenc de Bort erwähnt [539], das grossartigste bekannte Beispiel der Luftbewegung ohne Gradienten abgibt (S. 193). Nun ist zunächst noch die Frage zu beantworten, auf welchem Wege man gerade zu dem mehrfach genannten Parallel, dem also eine erhöhte geophysikalische Bedeutung zuzuschreiben ist, gelangt sei, und da stossen wir auf den merkwürdigen Umstand, dass der Kalkul auch bei verschiedener erfahrungsmässiger Grundlage immer wieder diesen Breitenkreis als einen besonders bemerkenswerten erscheinen lässt.

Wir bezeichnen, wie gewöhnlich, mit r den Erdradius, mit ω die Winkelgeschwindigkeit der rotierenden Erde und mit v jene relative Geschwindigkeit, mit welcher sich die Luft unter der geographischen Breite φ senkrecht zum Meridiane bewegt. Je nachdem man die Dove-Siemenssche oder die Ferrelsche Anschauung adoptiert, findet man die folgenden Ausdrücke:

$$v = r\,\omega\left(\sqrt{2/3} - \cos\varphi\right); \quad v = r\,\omega \,.\, \frac{2 - 3\cos^2\varphi}{3\cos\varphi}.$$

Berechnet man, ein beliebiges φ wählend, die Werte von v, so fallen dieselben natürlich verschieden aus; fragt man aber, für welches φ' die Geschwindigkeit v zu Null wird, so dass also keine Bewegung längs des Parallelkreises mehr existiert, so hat man einfach beidemale die Gleichung $3\cos^2\varphi' = 2$ aufzulösen und erhält, wie gesagt, $\varphi' = \pm 35^0\,16'$. Zudem stösst man, wie anderwärts gezeigt ward [540], auf diese selben Kreise, wenn man — das soll in Abteil. VI, Kap. IV geschehen — die Gezeitenbewegung einer flüssigen Erdhülle nach statischen Grundsätzen untersucht, und aus diesem Grunde halten wir an dem früher gemachten Vorschlage fest, die beiden Parallelkreise von $35^0\,16'$ als Knotenlinien der Erde zu bezeichnen.

Von den verschiedenen mathematischen Herleitungen gehen wir, als auf die einfachste und übersichtlichste, auf diejenige von Oberbeck [541] hier näher ein. Wir bringen die Erdumdrehung, d. h. die aus ihr entfliessende ablenkende Kraft, in bekannter Weise (S. 186) in Rechnung und verwenden bezüglich der Reibung den von Newton [542] axiomatisch formulierten Erfahrungssatz, dass der gegenseitige Einfluss zweier mit verschiedenen Geschwindigkeiten aneinander hin bewegten Flüssigkeitsmassen der Differenz von deren Geschwindigkeiten proportional ist. Sieht man dann weiter von der eine allzu grosse Verwickelung herbeiführenden Abnahme der Luftdichte mit der Höhe ab, so sieht man sich zu einem vorläufigen Resultate von bereits bedeutender Tragweite geführt: Denkt man sich eine bestimmte Temperaturverteilung über der Erdoberfläche oder über einem Teile derselben längere Zeit erhalten, so finden andauernde Luftströmungen statt, welche sich aus der als gegeben anzusehenden Temperaturanordnung berechnen lassen. Diese letztere sei t; unter a und b Konstante verstehend, kann man, wie sich durch Reihenentwickelung ergibt, $t = a + b\,(1 - 3\sin^2\varphi)$ setzen. Wenn dann c und d weitere konstante Grössen, f_1, f_2, f_3, f_4 gewisse Funktionen des Vertikalabstandes eines Luftteilchens von der Erde, V (radial), N (horizontal-nördlich), E (horizontal-östlich) die drei senkrecht zu einander stehenden Geschwindigkeitskomponenten jenes Luftteilchens vorstellen, so werden letztere drei Grössen analytisch folgendermassen bestimmt:

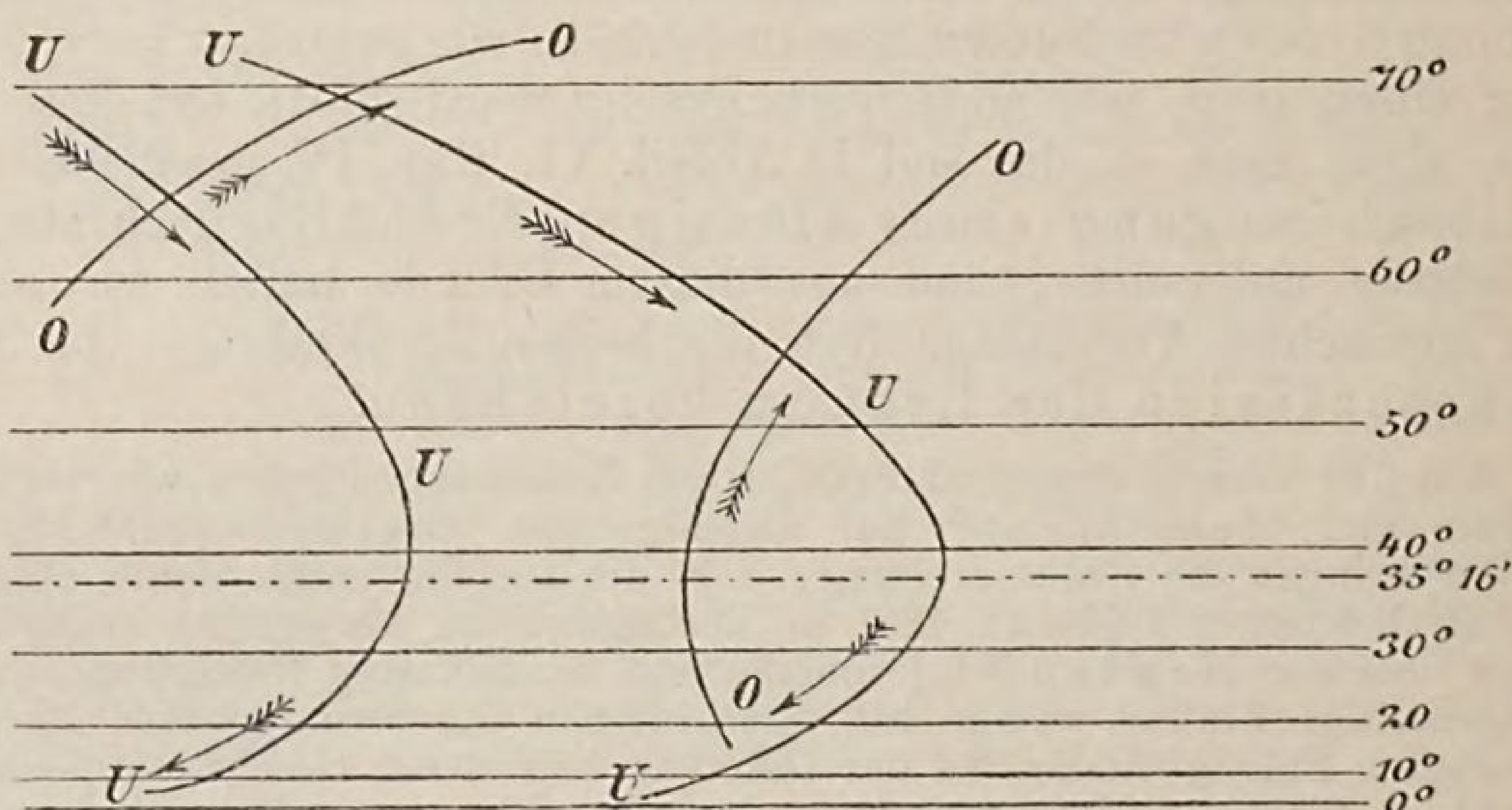
$$V = c f_1 (1 - 3\sin^2\varphi),\ N = -6\,c f_2 \sin\varphi\cos\varphi,\ E = d\cos\varphi\,[f_3 (1 - 3\sin^2\varphi) + 6\,f_4 \sin^2\varphi].$$

Obwohl c und d zur Zeit keine zahlenmässige Fixierung gestatten, kann man sich doch ein Bild von den Strömungen machen, in der Art etwa, wie es Fig. 58, die Projektion mit wachsenden Breiten (I, S. 298) zu Grunde legend, zu thun versucht. Der Vertikalstrom ändert bei $35^0\,16'$, weil dort $1 - 3\sin^2\varphi = -2 + 3\cos^2\varphi = 0$ wird, seine Richtung; bis dahin war die Bewegung eine aufsteigende,

und polwärts wird sie eine absteigende. Die dem Meridiane folgenden Ströme liefern die Geschwindigkeit Null, wenn $\sin\varphi$ oder $\cos\varphi = 0$ wird, also sowohl am Aequator, wie auch an den beiden Polen; sie erreichen ihre grösste Geschwindigkeit $\pm 3\,cf_2$, wenn $\sin 2\varphi = 1$, $\varphi = 45^0$ geworden ist. Die Komponente E endlich ändert, wie wir sehen, an der Knotenlinie ihre Richtung; U bezeichnet in der Figur den Unterwind, O den Oberwind. Am Aequator und an den Polen gibt es ausschliesslich Vertikalströme, welche die in den unteren und oberen Luftschichten obwaltenden Bewegungen in Verbindung setzen. Die Bewegung U entspricht den tropischen Passatwinden (S. 199), sowie den jenseits des 40. Parallels vorwiegenden Westwinden; O dagegen stellt den tropischen Antipassat dar, und in höheren Regionen höherer Breiten wird auch anscheinend eine westliche Luftströmung als die herrschende zu gelten haben. Wer diese Verhältnisse numerisch prüfen will, wird mit Nutzen die von Schneidemühl [543] gefertigte Hilfstabelle zu Rate ziehen.

Auf ein noch allgemeineres Ziel sind die theoretischen Untersuchungen gerichtet, welche H. v. Helmholtz [544] und Rausenberger [545] angestellt haben. Was letztere anbetrifft, so kommt ihnen schon von vornherein das grosse Verdienst zu, mit der Theorie der Funktionen einer komplexen Veränderlichen ein neues Ferment in die dynamische Meteorologie hineingetragen zu haben. Rausenberger glaubt wirbellose Bewegungen in der Luft für die Ausnahme,

Fig. 58.



Wirbel für die Regel erachten zu sollen, im Gegensatze zu Oberbeck [546], der in der Interpretation der Formeln von jenem abweicht und insbesondere darauf verweist, dass in Flüssen sich Strudel stets nur an Stellen bilden, welche ein Bewegungshindernis darbieten. Je nachdem eine gewisse Funktion, das Helmholtzsche Geschwindigkeitspotential [547], besteht oder nicht besteht, sind in einer „ideellen" Flüssigkeit gyratorische Bewegungen unmöglich oder möglich [548]; die zugehörigen Bedingungen sind eben von den oben genannten Forschern näher zu ergründen versucht worden.

Statt von den nicht ohne weiteres brauchbaren Eulerschen Differentialgleichungen auszugehen, stellte v. Helmholtz zunächst für den Gleichgewichtszustand der Atmosphäre neue Bedingungsgleichungen auf und studierte hierauf die Aenderungen stabilen Gleichgewichtes unter dem Einflusse von Erwärmung und Reibung. Bei westöstlich gerichteten Luftmassen wird das Rotationsmoment der unteren Partien verringert, die Drehung verlangsamt, so dass eine Annäherung an die Achse eintritt; umgekehrt verhält es sich bei den Ostwinden, deren untere

Teile eine Tendenz des Vordringens gegen den Aequator hin bekunden. Die dadurch weiter oben sich öffnende Lücke muss durch Luft, welche von der Kalmenzone (S. 198) her einströmt, ausgefüllt werden. Dieser Luftstrom behält zuvörderst seine grössere Rotationsgeschwindigkeit bei und verliert erst nach und nach an Energie; damit soll die primäre Ursache zum Entstehen von Zyklonen und Antizyklonen gegeben sein. Die Reibung pflanzt sich von der Erdoberfläche her nur langsam und allmählich in die oberen Schichten fort, und nur da gewahrt man ein anderes Bild, wo, wie bei Wirbelbewegungen der Fall, distinkte Trennungsflächen auftreten. Diskontinuierliche Bewegungen können in der Luft nebeneinander bestehen, aber das Gleichgewicht an der Grenzfläche ist ein labiles, und so entstehen die Wirbel [549], welche eine Vermischung herbeiführen und sich äusserlich durch gestreifte Cirruswölkchen an jener Scheidewand offenbaren. Solche Grenzwirbel gebieten auch den grossen Zirkulationen weit eher Halt, als dies der schwächeren Reibung möglich ist. Bei stärkerer Feuchtigkeit verwandelt sich, wenn die obere und untere Luftmasse Bewegungen in entgegengesetzter Richtung ausführen, die zuerst ebene Fläche in eine wellige mit Bergen und Thälern, deren Scheitel und Einsenkungen um mehrere 100 m voneinander abstehen können. Damit ist erklärt der häufige Wechsel der Windstärke, das Auftreten von Windstössen mit jähen Regenschauern (Böen), vor allem auch das eigenartige Wogen des Windes.

Derartige Windwogen auch unter gewöhnlichen Verhältnissen messend zu verfolgen, hat M. Töpler [550] einen eigenen Apparat angegeben, der das Konstruktionsprinzip des Kohlrauschschen Variationsbarometers (S. 58) befolgt und auch die schwächsten Bewegungsunterschiede ankündigt. Nach den Beobachtungen von Wolffhügel [551], Renk [552] und Hensele [553] gehört zu jedem Wogen des Aussenwindes auch ein stetiges Wogen der Bodenluft, zu deren Kontrolle das Differentialmanometer von Recknagel [554] die besten Dienste leistet.

[1] v. Bezold, Ueber den Fortschritt der wissenschaftlichen Witterungskunde während der letzten Jahrzehnte, M. Z., II, S. 316 ff. — [2] Report of the International Meteorological Congress, held at Chicago, II, Washington 1895, Kap. 4. — [3] Loomis-Brocard, Mémoires de météorologie dynamique, Paris 1879. — [4] J. H. Müller, De hiemis nuperae praeter ordinem mitis ac temperatae causis conjecturae physicae, Altdorf 1724. — [5] Saussure, Reisen durch die Alpen, nebst einem Versuche über die Naturgeschichte der Gegenden von Genf, aus dem Französischen übersetzt, IV, Leipzig 1888, S. 115 ff. — [6] Rosenberger, Geschichte der Physik, II, Braunschweig 1884, S. 205, 211. — [7] Ebenda, II, S. 291. — [8] Schneidemühl, Kant und die moderne Theorie der Winde, A., LXIII, S. 661 ff. — [9] Brandes, Beiträge zur Witterungskunde, Leipzig 1820. — [10] Espy, Philosophy of Storms, Boston 1841. — [11] Redfield, On the apparent Necessity of revising the received Systems of Dynamical Meteorology, New York 1850. — [12] Reid, An Attempt to develop the Laws of Storms, London 1838. — [13] Poggendorff, Biographisch-litterarisches Handwörterbuch zur Geschichte der exakten Wissenschaften, II, Leipzig 1863, Sp. 595. — [14] H. W. Dove, Ueber die verschiedenen Theorien des Windes, A. P. C., XLII, S. 316 ff.; Meteorologische Untersuchungen, Berlin 1837; De media ventorum directione ejusque mutationibus, Berlin 1850; Ueber das Gesetz der Stürme, Berlin 1857. — [15] H. W. Dove, Ueber den Einfluss der Drehung der Erde auf die Strömungen der Atmosphäre, A. P. C., XXXVI, S. 321 ff. — [16] Aristoteles', Meteorologia, lib. II, cap. 6. — [17] Plinius, Historia naturalis, lib. II, cap. 48. — [18] R. Wolf, Notizen zur Kulturgeschichte der Schweiz, Nr. 131. — [19] G. H. Darwin, Opening Address of the Section A of the British Association, N., XXXIV, S. 420 ff. — [20] Mühry, Aufgaben der Meteorologie, M. Z., I, S. 470 ff. — [21] Reye, Die Wirbelstürme, Tornados und Wettersäulen in der Erdatmosphäre, mit Berücksichtigung der Stürme in der Sonnenatmosphäre, Hannover 1880. — [22] Sprung, Lehrbuch der Meteorologie, Hamburg 1885. — [23] De Marchi, Meteorologia generale, Mailand 1888. — [24] v. Miller-Hauenfels, Theoretische Meteorologie, Graz 1884. — [25] Aug. Schmidt, Die Temperaturabnahme in der Höhe, J. A. M., I, S. 12 ff. — [26] Reye, S. 41 ff., 215 ff.; Ueber vertikale Luftströme in der Atmosphäre, Z. M. P., IX, S. 250 ff. — [27] Guldberg-Mohn, Die Temperaturänderung in der Atmosphäre in vertikaler Richtung, Z. ö. G. M., XIII, S. 113 ff. — [28] Hann, Die Wärmeabnahme mit der Höhe an der Erdoberfläche und ihre jährliche Periode, Z. ö. G. M., VI, S. 316 ff. — [29] Sprung, S. 86. — [30] Mendelejew, De la température des couches supérieures de l'atmosphère, C. R., LXXXI, S. 1094 ff., 1182 ff. — [31] Hann, Handbuch der Klimatologie, I, Stuttgart 1897, S. 240 ff. — [32] Korselt, Untersuchungen über das Gesetz der Temperaturabnahme in der Vertikalen auf Grund verschiedener Formeln zur barometrischen Höhenmessung, R. E., XXVI, S. 261 ff. — [33] Süring, Die vertikale Temperaturabnahme in Gebirgsgegenden in ihrer Abhängigkeit von der Bewölkung, Leipzig 1890. — [34] Hertz, Graphische Methode zur Bestimmung der adiabatischen Zustandsänderungen feuchter Luft, M. Z., I, S. 421 ff. — [35] J. Maurer, Temperaturleitung und Strahlung der ruhenden Atmosphäre, M. Z., III, S. 208 ff. — [36] Hann, Die Wärmeabnahme mit der Höhe an der Erdoberfläche, Wien 1870. — [37] Buchan, The Mean Pressure of the Atmosphere and the Prevailing Winds over the Globe for the Months and for the Year, T. R. S. E., XXV, S. 575 ff. — [38] Hann, Ueber die Reduktion der Barometerstände auf das Meeresniveau zum Zwecke der Sturmwarnungen, Z. ö. G. M., VIII, S. 321 ff. — [39] van Bebber, Handbuch der ausübenden Witterungskunde, II, Stuttgart 1886, S. 132 ff. — [40] Supan, Statistik der unteren Luftströmungen, Leipzig 1881, S. 3 ff. — [41] Woeikow, Der höchste bis jetzt beobachtete Luftdruck auf der Erde, M. Z., X, S. 110 ff. — [42] Blanford, Low Barometric Readings, N., XXXV, S. 344; XXXVI, S. 306. — [43] Kleiber, Isogradientenkarten für die ganze Erdoberfläche, M. Z., VII,

S. 401 ff. — [44] Kleiber, Periodische Schwankungen der Atmosphäre zwischen beiden Halbkugeln der Erde, M. Z., IV, S. 11 ff. — [45] Eckholm, Witterungsuntersuchungen vermittelst synoptischer, die Luftdichte darstellender Karten, M. Z., VII, S. 378 ff. — [46] van Bebber, Handbuch etc., II, S. 280 ff. — [47] Hoffmeyer, Die Verteilung des Luftdruckes über dem Atlantischen Ozean, Z. ö. G. M., XIII, S. 337 ff.; Weitere Bemerkungen über die Luftdruckverteilung im Winter, Z. ö. G. M., XIV, S. 73 ff. — [48] Teisserenc de Bort, Étude sur l'hiver de 1879—80 et recherches sur les positions des classes d'action de l'atmosphère dans les hivers anormaux, A. B. M. F., 1881. — [49] van Bebber-Köppen, Die Isobarentypen des Nordatlantischen Ozeans und Westeuropas, ihre Beziehungen zur Lage und Bewegung der barometrischen Maxima und Minima, A. A. D. S., XVIII, Nr. 4. — [50] E. Herrmann, Beziehungen der täglichen synoptischen Wetterkarten zur allgemeinen atmosphärischen Zirkulation, M. Z., X, S. 1 ff. — [51] Abercromby-Hunt, Types on Australian Weather, Sydney 1896. — [52] Less, Die Verteilung des Luftdruckes über Europa während der Trockenzeiten des Frühlings und Sommers 1893, M. Z., XI, S. 121 ff. — [53] Krankenhagen, Die Verteilung des Luftdruckes über Mitteleuropa im Juni, M. Z., I, S. 11 ff.; Beitrag zum Studium der barometrischen Maxima und Minima, Stettin 1885. — [54] Supan, Die arktische Windscheide und die modernen Polarprojekte, P. G. M., XXXVII, S. 191 ff. — [55] Poggendorff, Geschichte der Physik, Leipzig 1879, S. 738 ff. — [56] Hann, Ebbe und Flut im Luftmeere der Erde, H. E., VI, S. 345 ff.; 407 ff. — [57] Ebenda, S. 347. — [58] Ebenda, S. 348. — [59] A. v. Humboldt, Kosmos, I, S. 230. — [60] Gorceix, Observations sur le climat et le régime des pluies du plateau de la province de Minas-Geraes, B. S. G. F., 1883, S. 42. — [61] Sykes, Discussions of Meteorological Observations taken in India, P. T., 1850, S. 297 ff. — [62] A. v. Humboldt, Beobachtungen über die stündlichen Variationen des Barometers zwischen den Wendekreisen, F. N., XII, S. 65 ff. — [63] A. v. Humboldt, Ueber die allgemeinen Gesetze der stündlichen Schwankungen des Barometers, A. P. C., XII, S. 299 ff. — [64] Humboldt, Kosmos, I, S. 229, 329. — [65] Hemmer, De solis in barometrum influxu, C. A. P., M. K., VI, S. 50 ff. — [66] Lamont, Ueber die eigentümliche Beschaffenheit der täglichen Barometeroszillationen in Madrid, A. P. C., CIX, S. 89 ff. — [67] Hann, Bemerkungen zur täglichen Oszillation des Barometers, Wien 1886. — [68] Hann, Ebbe und Flut etc., S. 352. — [69] Ebenda, S. 354. — [70] Ebenda, S. 359. — [71] Angot, Sur la variation diurne du baromètre, C. R., CX, S. 989 ff. — [72] Rosenberger, II, S. 352. — [73] Rykatschew, La marche diurne du baromètre en Russie et quelques remarques concernant ce phénomène en général, R. M., VI, Nr. 10. — [74] Buchan, On the Diurnal Oscillations of the Barometer, I, T. R. S. E., XXVII, S. 397 ff. — [75] Hann, a. a. O., S. 364 ff. — [76] Danckwortt, Der jährliche und tägliche Gang des Luftdruckes in Magdeburg, A. L. V. S., III, S. 159 ff. — [77] Angot, Étude sur la marche diurne du baromètre, A. B. M. F., 1887. — [78] Ad. Schmidt, Ueber die doppelte tägliche Oszillation des Barometers, M. Z., VII, S. 182 ff. — [79] Hann, Der tägliche Gang des Barometers zu San Paolo de Loanda, M. Z., XIII, S. 191 ff. — [80] Hann, Weitere Untersuchungen über die tägliche Oszillation des Barometers, Wien 1892. — [81] Hann, Ebbe und Flut, S. 414 ff. — [82] Hann, Einige Resultate stündlicher meteorologischer Beobachtungen auf dem Gipfel des Fuji in Japan, Wien 1891. — [83] Steen, Die Aenderungen des Luftdruckes während einer totalen Sonnenfinsternis, A. H. m. M., 1891, S. 196 ff. — [84] Nakamura, Ueber den mittleren täglichen Gang des Barometers an heiteren und trüben Tagen zu Hamburg, M. Z., VI, S. 41 ff. — [85] Korselt, Ueber die Ursachen der täglichen Oszillation des Barometers, Annaberg i. S. 1891. — [86] Hann, Ebbe und Flut etc., S. 412 ff. — [87] W. Thomson, On the Variation of the Periodic Times of the Earth and Inferior Planets, produced by Matter falling into the Sun, P. P. S. Gl., 1860, S. 272 ff. — [88] Margules, Ueber Luftbewegungen in einer rotierenden Sphäroidschale mit zonaler Druckverteilung, S. A. W., M. N., 1892, S. 597 ff. — [89] Felberg, Ueber die unperiodischen monatlichen Schwankungen des Barometerstandes, Hamburg 1878. — [90] Klitzkowsky, Untersuchungen über die Ursachen der unperiodischen Luftdruckschwankungen, M. Z., VII, S. 441 ff. — [91] Hegyfoky, Tägliche Periode der Luftströmung in Bezug auf Richtung, Geschwindigkeit und Drehung, M. Z., XIII, S. 166 ff. — [92] Satke, Die tägliche Periode des Windes in höheren Luftschichten, M. Z., XIII, S. 276 ff. — [93] Satke, Ueber die tägliche Periode der Wolkengeschwindigkeit und Wolkenrichtung in Tarnopol, M. Z., XII, S. 144 ff. — [94] W. Köppen, Zur täglichen Periode der Windstärke, M. Z., XII, S. 329 ff. — [95] C. Wagner, Die tägliche Periode der Geschwindigkeit und Richtung des Windes in Kremsmünster, Kremsmünster 1893. — [96] Satke, Die Drehung des Windes in der jährlichen Periode, W., IV, S. 34 ff. — [97] Augustin, Ueber die jährliche Periode der Richtung des Windes, S. B. G. W., 1886, S. 208 ff.; 1887, S. 486 ff. — [98] Augustin, Ueber die jährliche Periode der Richtung des Windes in Mittel- und Westeuropa, M. Z., IV, S. 401 ff. — [99] Dechevrens, Oscillation diurne de l'inclinaison des motions de l'air observée à Zikawei en Chine, C. R., CVI, S. 1697 ff. — [100] Biehringer, Ueber Kurven auf Rotationsflächen, Z. M. P. XXI, S. 229 ff.; XXII, S. 151 ff. — [101] F. Roth, Beitrag zur Sprungschen Trägheitskurve, Z. ö. G. M., XVI, S. 283 ff.; Ueber die Bahn eines freien Teilchens auf einer sich gleichmässig drehenden Scheibe, R. E., XXII, S. 354 ff. XXIII, S. 1 ff., 457 ff., 506 ff.; Der Einfluss der Reibung auf die Ablenkung der Bewegungen längs der Erdoberfläche, M. Z., VI, S. 75 ff. — [102] Bruns, Die Trägheitsbahn auf der Erdoberfläche, M. A., XXII, S. 296 ff. — [103] Sprung, Die Trägheitskurven auf rotierenden Oberflächen als ein Hülfsmittel beim Studium der Luftbewegungen, Z. ö. G. M., XV, S. 1 ff.; Studien über den Wind und seine Beziehungen zum Luftdruck, Hamburg 1879; Lehrb. d. Met., S. 16 ff. — [104] Baeyer, Ueber die Bahnlinien der Winde auf der sphäroidischen Erde, A. P. C., CIV, S. 377 ff. — [105] Ohlert, Zur Theorie der Strömungen des Meeres und der Atmosphäre, A. P. C., CX, S. 234 ff. — [106] Finger, Ueber den Einfluss der Erdrotation auf parallel zur sphäroidischen Erdoberfläche vor sich gehende Bewegungen, S. A. W., M. N., LXXVII, S. 67 ff. — [107] E. Herrmann, Einiges über die Anwendung des Satzes von der Erhaltung der Flächen auf das Luftmeer, M. Z., XI, S. 114 ff. — [108] Sprung, Lehrb. d. Met., S. 24 ff., 35. — [109] Ebenda, S. 108 ff. — [110] Supan, Statistik der unteren Luftströmungen, Leipzig 1881, S. 15. — [111] Sprung, a. a. O., S. 112. — [112] Christiansen-J. Müller, Elemente der theoretischen Physik, Leipzig 1894, S. 142. — [113] Coffin, The Winds of the Globe (Neue Auflage), Washington 1875, S. 660. — [114] Dippe, Die Ungleichheiten des Barometerstandes an benachbarten, in gleicher Höhe über dem Meere gelegenen Stationen und Abhängigkeit dieser Ungleichheiten von der Richtung und Stärke des Windes, Beitr. z. Statistik von Mecklenburg, II, 2, 1861. — [115] Snellen, Buys Ballot, M. Z., VIII, S. 1 ff. — [116] Buys Ballot, Erläuterung einer graphischen Methode zur gleichzeitigen Darstellung der Witterungserscheinungen an vielen Orten, A. P. C., 4. Erg.-Bd., S. 559 ff. — [117] Buys Ballot, Regelen van weerverwendering in Nederland, Utrecht 1860; Beiträge zur Vorhersage von Witterungserscheinungen, namentlich von Windrichtung und Windkraft, D. A., III, S. 85 ff. — [118] Galton, A Development of the Theory of Cyclones, P. R. S., XII, S. 385 ff. — [119] van Bebber, Handbuch etc., I, S. 285 ff. — [120] Sprung, Geometrische Ableitung der Grösse des ablenkenden Einflusses der Erdrotation auf horizontale Bewegungen, M. Z., I, S. 250 ff.; Theoretische Begründung des Buys Ballotschen Ge-

-setzes, A. H. m. M., VIII, S. 603 ff. — [121] Sprung, Lehrb. d. Met., S. 110. — [122] Ekholm, Ueber die Einwirkung der vertikalen Komponente der Erdrotation auf die Luftbewegung, M. Z., XIII, S. 121 ff. — [123] Ekholm, Ueber die Einwirkung der ablenkenden Kraft der Erdrotation auf die Luftbewegung, M. Z., XI, S. 137 ff. — [124] Coriolis, Mémoire sur les équations du mouvement relatif des systèmes de corps, J. E. P., XV, S. 142 ff. — [125] Ferrel, Popular Essays on the Movement of the Atmosphere, Washington 1882. — [126] Linss, Ueber die Geschwindigkeit aufsteigender Luftströme, M. Z., V, S. 37 ff. — [127] Sprung, Lehrb. d. Met., S. 117. — [128] van Bebber, Abhängigkeit der Stärke des Unterwindes von der Unterlage, A. H. m. M., XVII, S. 485 ff. — [129] Guldberg-Mohn, Ueber die gleichförmige Bewegung der horizontalen Luftströme, Z. ö. G. M., XII, S. 49 ff.; Sprung, a. a. O., S. 119. — [130] Sprung, Eine auffällige Abweichung vom Buys Ballotschen Gesetze, M. Z., XI, S. 197 ff. — [131] Sprung, Lehrb. d. Met., S. 203 ff. — [132] Hill, Einige Anomalien in den Winden des nördlichen Indiens und ihre Beziehung zur Druckverteilung, M. Z., VI, S. 367 ff. — [133] Möller, Ueber Windrichtungen, welche vom Buys Ballotschen Gesetze abweichen, Z. ö. G. M., XIX, S. 80 ff.; Lancaster, Discussion des observations d'orages faites en Belgiques pendant l'année 1879, suivie d'un appendice comprenant les observations recueillies depuis un siècle, Brüssel 1885. — [134] Hildebrandsson, Sur la distribution des éléments météorologiques, Upsala 1885; van Bebber, Die Untersuchungen von Hildebrandsson über die Verteilung der meteorologischen Elemente im Umkreise der barometrischen Maxima und Minima, M. Z., I, S. 111 ff. — [135] Ehrenburg, Ueber die Ablenkung der Windrichtung durch die Erdrotation, S. p. m. G. W., 28. Oktober 1893; B. G., III, S. 217 ff. — [136] Kassner, Ueber kreisähnliche Zyklonen, Berlin 1893. — [137] Loomis, Mémoires etc., S. 52. — [138] Davis, Cyclones, Anti-Cyclones and Peri-Cyclones, A. M. J., III, S. 117 ff. — [139] Knipping, Zur Form der Zyklonen, A. H. m. M., XVIII, S. 103 ff. — [140] W. Köppen, Transparentdiagramme der Luftbewegung in Zyklonen und Antizyklonen, A. H. m. M., XXIII, S. 193 ff. — [141] v. Bezold, Zur Theorie der Zyklonen, M. Z., VIII, S. 241 ff. — [142] De Marchi, Sulla teoria dei cicloni, R. I. L., (2) XXV, 5. Heft. — [143] Pockels, Zur Theorie der Luftbewegung in stationären Antizyklonen mit konzentrischen kreisförmigen Isobaren, M. Z., S. 9 ff. — [144] Oekinghaus, Zur Theorie der Antizyklonen, M. Z., XIII, S. 423 ff. — [145] van Bebber, Das Wetter in den barometrischen Maxima, A. A. D. S., XV, Nr. 4; Das Wetter in der Umgebung der barometrischen Maxima, A., LXVI, S. 307 ff. — [146] Leyst, Untersuchungen über den täglichen und jährlichen Gang der meteorologischen Elemente an den Zyklonen- und Antizyklonentagen, R. M., XVI, Nr. 8. — [147] van Bebber, Das Wetter in d. Umgeb. etc., S. 310. — [148] Vettin, Ueber die Volumina der in die barometrischen Maxima und Minima hinein- und aus ihnen herausströmenden Luft, A. A. D. S., XI, Nr. 5. — [149] Hann, Ueber das Luftdruckmaximum vom 23. Januar bis 3. Februar 1876, Z. ö. G. M., XI, S. 129 ff. — [150] Dechevrens, Sur les variations des temperatures observées dans les cyclones, II, Zikawei 1887. — [151] Hann, Bemerkungen über die Temperatur in den Zyklonen und Antizyklonen, M. Z., VII, S. 328 ff. — [152] Hann, Ueber die Temperatur im Gebiete der barometrischen Maxima und Minima, M. Z., VII, S. 457 ff. — [153] Trabert, Dritter Jahresbericht des Sonnblick-Vereines für das Jahr 1894, Wien 1895, S. 1 ff. — [154] C. Neumann-Partsch, Physikalische Geographie von Griechenland, Breslau 1885, S. 90 ff. — [155] Plutarch, Themistocles, cap. 14. — [156] Hann, Handbuch der Klimatologie, I, Stuttgart 1897, S. 155; A. M. J., II, S. 60 ff. — [157] Hann, a. a. O., I, S. 152. — [158] An Investigation of the Sea Breeze, A. A. O. H. C., XXI, 2. — [159] Bigourdan, Résumé des observations météorologiques faites à Joal (Sénégal), C. R., CXVIII, S. 1201 ff. — [160] Forel, Le Léman; monographie limnologique, I, Lausanne 1892, S. 302. — [161] Seemann, Ueber Land- und Seewinde und deren Verlauf, W., I, S. 79 ff., 101 ff., 124 ff. — [162] Hann, a. a. O., I, S. 159 ff. — [163] Blanford, Luftdruckdifferenzen beim Wechsel der Land- und Seewinde an der Küste von Bengalen, Z. ö. G. M., XII, S. 129 ff. — [164] van Bebber, Lehrbuch der Meteorologie, Stuttgart 1890, S. 141. — [165] v. Richthofen, Führer für Forschungsreisende, Berlin 1886, S. 73. — [166] Hann, a. a. O., I, S. 321. — [167] J. Berger, Der Wisper- und der Bodenthalwind, P. G. M., X., S. 201 ff. — [168] Fournet, Des brises de jour et de nuit autour des montagnes, A. C. P., LXXIV, S. 297 ff.; A. P. C., 1. Erg.-Bd., S. 490 ff., 595 ff. — [169] Hann, a. a. O., I, S. 323 ff. — [170] Chaix, Théorie des brises de montagne, L. G., XXXIII, S. 105 ff. — [171] Erk, Die Resultate der Barometerregistrierungen in München, Feld und auf dem Wendelstein im Jahre 1890, B. m. St. B., XII, S. XXVII ff. — [172] Billwiller, Der Thalwind des Oberengadins, M. Z., XIII, 129 ff. — [173] Hann, a. a. O., I, S. 328 ff. — [174] Erzherzog . . ., Tagebuch meiner Reise um die Erde, I, Wien 1895, S. 196 ff. — [175] Peschel-Leipoldt, Physische Erdkunde, II, Leipzig 1885, S. 236. — [176] Hann, a. a. O., II, S. 19. — [177] Peschel-Leipoldt, II, S. 103. — [178] Hann, a. a. O., II, S. 22. — [179] Pernter, Der Antipassat in den Tropen nach der mathematischen Theorie der allgemeinen Zirkulation, M. Z., VII, S. 177 ff. — [180] Thoynbee, On the Physical Geography of the Atlantic between 20° N. and 10° S., London 1876. — [181] Abercromby, Upper Wind-Currents near the Equator and the Diffusion of Krakatoa Dust, N., XXXVI, S. 85, 222. — [182] Hann, a. a. O., II, S. 23 ff. — [183] Halley, An historical Account of the Trade-Winds and Monsoons, with an Attempt to assign their physical Cause, P. T., 1686, S. 153 ff. — [184] Hadley, Concerning the Cause of the General Trade-Winds, London 1735; ed. Hellmann, N. S. K. M. E., Nr. 6. — [185] Kant-F. W. Schubert, Schriften zur physischen Geographie, Leipzig 1839, S. 28 ff. — [186] Ebenda, S. 794 ff. — [187] Mühry, Untersuchungen über die Theorie und das allgemeine geographische System der Winde, Göttingen 1869. — [188] Benoni, Der Einfluss der Achsendrehung auf das geographische System der Winde, P. G. M., XXIII, S. 93 ff. — [189] Cornelius, Grundriss der physikalischen Geographie, Halle a. d. S., 1886, S. 114 ff. — [190] Ruge, Geschichte des Zeitalters der Entdeckungen, Berlin 1881, S. 125 ff. — [191] Kant-F. W. Schubert, S. 800. — [192] Hann, a. a. O., II, S. 161 ff. — [193] Dallas, Obere Luftströmungen über der indischen Monsunregion, M. Z., XIII, S. 245 ff. — [194] Abercromby, Upper Wind-Currents over the Bay of Bengal in March, and Malaysia in April and May, N., XXXIV, S. 288 ff. — [195] Cornelius, S. 116. — [196] Harrington, The Texan Monsoons, Washington 1894. — [197] C. Neumann-Partsch, S. 92 ff. — [198] Guldberg-Mohn, Études sur les mouvements de l'atmosphère, Christiania, I, 1876; II, 1880. — [199] Oberbeck, Ueber die Guldberg-Mohnsche Theorie horizontaler Strömungen, V. II. D. G., S. 93 ff. — [200] Sprung, Lehrb. d. Met., II. Abt., Kap. 2 und 3. — [201] Ebenda, S. 139. — [202] van Bebber, Lehrb. d. Met., S. 152 ff. — [203] Vettin, Die Luftströmungen über Berlin in den vier Jahreszeiten, M. Z., III, S. 333 ff. — [204] Ekholm-Hagström, Sur la méthode de mesurer les hauteurs et les mouvements des nuages, A. S. M. F., 1886, S. 15 ff. — [205] Lasswitz, Ueber Wirbelatome und stetige Raumerfüllung, V. w. P., III, S. 212 ff. — [206] Günther, Strömungsversuche und deren Bedeutung für die Physik des Kosmos und der Erde, H., VI, S. 329 ff. — [207] Vettin, Ueber den mittleren Barometerstand in verschiedenen Breiten, A. P. C., C, S. 595 ff.; Ueber den aufsteigenden Luftstrom, die Entstehung des Hagels und die Wirbelstürme, A. P. C., CII, S. 246 ff. — [208] Dove, Einige Bemerkungen über die meteorologischen Aufsätze des Herrn Vettin, A. P. C., CII, S. 607 ff. — [209] Ebenda, S. 612. — [210] Vettin, Experimentelle

Darstellung von Luftbewegungen unter dem Einflusse von Temperaturunterschieden und Bewegungsimpulsen, M. Z., I, S. 227 ff., 271 ff.; II, S. 172 ff. — [211] Vettin, Experimentelle Darstellung von Zyklonen mit vorwiegender Flächenausdehnung, M. Z., II, S. 186 ff. — [212] F. E. Reusch, Ueber gewisse Strömungsgebilde im Inneren von Flüssigkeiten und deren morphologische Bedeutung, Tübingen 1860. — [213] v. Bezold, Ueber eine neue Art von Kohäsionsfiguren, S. A. M., M. P., 1884, S. 355 ff.; Ueber Strömungsfiguren in Flüssigkeiten, ebenda, 1884, S. 611 ff. — [214] C. Neumann-Partsch, S. 105. — [215] Möller, Der räumliche Gradient, M. Z., XII, S. 89 ff.; Der Kreislauf der Luft zwischen hohen und niederen Breiten, die Druckverteilung und mittlere Windrichtung, A. A. D. S., X, Nr. 3. — [216] Davis, Ueber Samum und Böen, M. Z., I, S. 242 ff. — [217] v. Richthofen, Führer etc., S. 75. — [218] H. Meyer, Ueber Fallwinde, W., IV, S. 241 ff. — [219] v. Bezold, Zur Thermodynamik der Atmosphäre, M. Z., IV, S. 255 ff. — [220] Trabert, Zur Theorie der Erwärmung herabsinkender Luft, M. Z., IX, S. 141 ff. — [221] Sprung, Lehrb. d. Met., S. 170. — [222] Buccich, Temperaturerhöhung durch Bora, Z. ö. G. M., X, S. 112. — [223] H. Meyer, S. 244 ff. — [224] K. Müller, Der Föhn in geschichtlicher Beleuchtung, Ntr., XLIV, S. 15 ff. — [225] Berndt, Der Föhn; ein Beitrag zur orographischen Meteorologie und komparativen Klimatologie, Göttingen 1886. — [226] Ebenda, S. 2. — [227] Berndt, Der Alpenföhn in seinem Einflusse auf Natur- und Menschenleben, P. G. M., E. H. Nr. 83. — [228] M. Höfler, Der Föhn vom ärztlichen Standpunkte, Nürnberg 1893. — [229] Ebenda, S. 4. — [230] Berndt, Der Föhn etc., S. 62 ff. — [231] Hugi, Naturhistorische Alpenreisen, Solothurn 1830, S. 145. — [232] Hann, Ueber die Witterungsverhältnisse und die Niederschläge vom 11. September bis 10. Oktober 1868, Z. ö. G. M., I, S. 269 ff. — [233] A. Heim, Lichterscheinungen der Atmosphäre im Gebirge, J. S. A., V, S. 536 ff. — [234] Denzler, Ueber die Erscheinungszeiten und die Erkennung des Föhns, Zürich 1848. — [235] Erk, Der Föhnsturm vom 15. und 16. Oktober 1885 und seine Wirkungen im bayerischen Gebirge, M. Z., III, S. 85 ff.; Der Föhn, B. J. G., 1888, V, S. 1 ff.; Der Einfluss der Alpen auf die klimatischen Verhältnisse der bayerischen Hochebene, B. A. Z., 1892, Nr. 139—140; Die Witterungsverhältnisse im bayerischen Alpengebiete und dessen Vorlande vom 9.—12. Januar 1894, M. Z., XII, S. 407 ff.; Ergebnisse von vier freien Fahrten im Mai 1895, M. Z., XIII, S. 436 ff. — [236] Hann, Handb. etc., I, S. 344. — [237] Berndt, Der Föhn etc., S. 72. — [238] Höffinger, Nord- und Ostföhn, beobachtet an der meteorologischen Station Austria-Gries bei Bozen, M. Z., V, S. 175 ff. — [239] R. Klein, Nordföhn zu Tragöss, M. Z., XV, S. 61 ff. — [240] Bamler, Föhnerscheinungen in den Vogesen und deren Einfluss auf das Klima der südlichen Vogesenthäler, M. Z., XI, S. 143 ff. — [241] Reissenberger, Eine Art Föhn in Siebenbürgen, Z. ö. G. M., III, S. 205 ff. — [242] Assmann, Der Einfluss der Gebirge auf das Klima von Mitteldeutschland, Stuttgart 1886, S. 57 ff. — [243] C. Neumann-Partsch, S. 103 ff. — [244] Theophrast, De ventis, cap. 44. — [245] Harrington, The Chinook Wind, A. M. J., III, S. 330 ff., 467 ff., 516 ff. — [246] Knipping, Der Föhn bei Kanazawa, M. G. N. V. O., LXIII, Nr. 34. — [247] Davis, The Foehn in New Zealand, A. M. J., III, S. 242 ff. — [248] Hann, a. a. O., III, S. 390 ff. — [249] P. Vogel, Ueber die Schnee- und Gletscherverhältnisse auf Süd-Georgien, J. G. G. M., X, S. 78 ff. — [250] Rink, Physikalische Beschreibung von Nord- und Südgrönland, Z. a. E., 1854, S. 177 ff.; 1857, S. 6 ff. — [251] Hoffmeyer, Der grönländische Föhn, Z. ö. G. M., XIII, S. 65 ff.; S. 145 ff. — [252] A. Paulsen, De milde Vinde om Vinteren i Grönland, Ge. T., IX, S. 100 ff.; Ueber die milden Winde im grönländischen Winter, M. Z., VI, S. 241 ff.; Ueber den Föhn in Grönland, VI, S. 112 ff.; VII, S. 268 ff. — [253] Hann, Ueber den Föhn in Grönland, M. Z., VI, S. 379 ff. — [254] Holm-Jantzen, Den ostgrondlandske Expedition 1883—85, I, Kopenhagen 1890, S. 300 ff., 405 ff. — [255] S. Fritz, Remarks on the Winds, Clouds and Auroras on the Sudwest Coast of Greenland, Dän. Met. Jahrb., 1882, S. VIII ff. — [256] Dove, Ueber Eiszeit, Föhn und Scirocco, Berlin 1867; Der Schweizer Föhn, Nachtrag zu Eiszeit, Föhn und Scirocco, Berlin 1868. — [257] Mühry, Untersuch. etc., S. 180; Ueber den Föhnwind, Z. ö. G. M., II, S. 385 ff. — [258] Wettstein, Die Strömungen des Festen, Flüssigen und Gasförmigen und ihre Bedeutung für Astronomie, Meteorologie und Klimatologie, Zürich 1880, S. 335 ff. — [259] Hann, Einige Bemerkungen zur Entwickelungsgeschichte der Ansichten über den Ursprung des Föhns, M. Z., II, S. 393 ff. — [260] Fleischmann, Der gegenwärtige Stand der Frage über die Entstehung des Föhns und das Verschwinden der Eiszeit, Lindau i. B. 1869. — [261] Lommel, Der Föhn, Z. ö. F., 1869, S. 275 ff., 289 ff. — [262] Espy, Philosophy of Storms, Boston 1841; Fourth Meteorological Report, Washington 1857. — [263] H. v. Helmholtz, Eis und Gletscher, Populäre naturwissenschaftliche Vorträge, Braunschweig 1865, S. 97. — [264] Tyndall, On Ice and Glaciers, P. M., 1865, S. 393 ff. — [265] v. Bezold, Noch ein Wort zur Entwickelungsgeschichte der Ansichten über den Ursprung des Föhns, M. Z., III, S. 85 ff. — [266] Martins-C. Vogt, Von Spitzbergen zur Sahara, II, Jena 1872, S. 248 ff. — [267] Desor, Aus Sahara und Atlas; vier Briefe an J. v. Liebig, Wiesbaden 1865; Die Beziehungen des Föhns zur afrikanischen Wüste, J. S. A., II, S. 400 ff. — [268] A. Escher v. d. Linth, Die Gegend von Zürich in der letzten Periode der Vorwelt, Zürich 1852. — [269] Berndt, Der Föhn etc., S. 8. — [270] H. Wild, Ueber Föhn und Eiszeit, Bern 1868; Der Schweizer Föhn, Entgegnung auf Doves gleichnamige Schrift und Nachtrag zu Föhn und Eiszeit, Bern 1868. — [271] Grad, Sur l'origine des vents chauds des Alpes et la constitution physique du Sahara, C. R., LXXIX, S. 246 ff. — [272] Coaz, Der Föhn, Chur 1867; Blotnitzki, Bericht über den Föhn und dessen Einfluss auf die Wasserverheerungen, Bern 1869. — [273] Dove, Ueber Eiszeit etc., S. 24 ff. — [274] Sprung, Studien etc., S. 33. — [275] Biehringer, a. a. O., Z. M. P., XXI, S. 267. — [276] L. Dufour, Recherches sur le foehn du 23 septembre 1866 en Suisse, A. s. p. n., XXXII, S. 17 ff. — [277] Hann, Neue Mitteilungen über den Föhn, Z. ö. G. M., III, S. 241 ff., 291 ff. — [278] Ebenda, S. 248. — [279] Hann, Der Föhn auf der Ostseite der Südalpen Neu-Seelands, Z. ö. G. M., III, S. 95 ff. — [280] Hann, Der Scirocco der Südalpen, Z. ö. G. M., III, S. 561 ff. — [281] Hann, Handb. d. Klimat., I, S. 349. — [282] Kobelt, Nach den Säulen des Herkules, B. S. N. F., 1882, S. 190 ff. — [283] Hann, a. a. O., S. 335. — [284] Philippson, Vierter Bericht über Reisen im Peloponnes, V. G. E. B., XV, S. 315. — [285] Hann, Der Scirocco der Südalpen, Z. ö. G. M., III, S. 561 ff. — [286] Billwiller, Ueber ein lokales Auftreten des Nordföhns, Z. ö. G. M., X, S. 341 ff. — [287] Hann, Ueber den Föhn in Bludenz, Wien 1882; M. d. ö. A., VIII, S. 115 ff. — [288] Hann, Handb. d. Klimat., I, S. 339. — [289] Bohn, Ergebnisse physikalischer Forschung, Leipzig 1878, S. 264. — [290] Hann, Handb. d. Klimat., I, S. 343. — [291] Pernter, Ueber die Häufigkeit, die Dauer und die meteorologischen Eigenschaften des Föhns in Innsbruck, S. A. W., M. N., Mai 1895; Die allgemeine Luftdruckverteilung und die Gradienten bei Föhn, ebenda, Januar 1896. — [292] Billwiller, Der Föhn vom 13. Januar 1895 am Nordfusse der Alpen und die Bildung einer Teildepression daselbst, M. Z., XII, S. 201 ff. — [293] Erk, Das Klima von Oberbayern; neuere Beobachtungen auf dem Gebiete der Meteorologie in Oberbayern, Festschr. z. Vers. bayer. Landwirte in Rosenheim, 1898. — [294] Hann, Das Luftdruckmaximum vom November 1889 in Mitteleuropa, D. A. W., M. N., LVII, S. 414. — [295] F. Kerner v. Marilaun, Die Föhnmauer, eine meteorologische Erscheinung der Zentralalpen, Z. d. ö. A., XXIII, S. 1 ff. — [296] Mazelle, Zur

Bestimmung der Stärke einzelner Borastösse, M. Z., X, S. 97 ff. — [297] v. Jedina, Die Teildepressionen des Mittelmeeres und die Borastürme, M. Z., IX, S. 344 ff. — [298] Seidl, Bemerkungen über die Karstbora, M. Z., VIII, S. 232 ff. — [299] Hann, Handb. d. Klimat., I, S. 352 ff. — [300] Ebenda, III, S. 46. — [301] Berndt, Die Plaine de la Crau, Breslau 1886. — [302] C. Neumann-Partsch, S. 105. — [303] Apostelgeschichte, XXVII, 14. — [304] v. Wrangel, Ueber die Ursachen der Bora in Noworossisk, R. M., V, Nr. 4. — [305] W. Köppen, Was ist der „Southerly Burster" Australiens? M. Z., XIII, S. 36 ff. — [306] Seidl, Ueber das Klima des Karstes, Görz 1890. — [307] Mohorovičić, Interessante Wolkenbildung über der Bucht von Buccari, M. Z., VI, S. 57. — [308] Billwiller, Die Niederschläge zu Ende August und Anfang September 1881 in der Schweiz und ihre Beziehung zur Verteilung des Luftdruckes, Z. ö. G. M., XVII, S. 5. — [309] van Bebber, Handb. etc., I, S. 294 ff.; Die Wettervorhersage (2. Aufl.), Stuttgart 1898, S. 36 ff. — [310] Ley, The Laws of the Winds prevailing in Western Europa, I, London 1872. — [311] Prestel, Das Gesetz der Winde und das System der Luftströmungen über dem Atlantischen Ozean, Z. ö. G. M., VI, S. 337 ff.; Sur les lignes des cirrus comme moyen de prédire les orages, M., (2) XXXVII, S. 144 ff. — [312] Supan, Statistik etc., S. 116 ff. — [313] W. Köppen, Ueber den Einfluss der Temperaturverteilung auf die oberen Luftströmungen und auf die Fortpflanzung der barometrischen Minima, G., XIX, S. 201 ff. — [314] van Bebber, Die Zugstrassen der barometrischen Minima nach den Bahnenkarten der Deutschen Seewarte für den Zeitraum 1875—90, M. Z., VIII, S. 361 ff.; Typische Witterungserscheinungen, A. A. D. S., 1882, Nr. 3; 1886, Nr. 2. — [315] W. Köppen, Der Fortpflanzungsgradient der Zyklonen, M. Z., XII, S. 223 ff. — [316] van Bebber, Wettervorhers., S. 40 ff. — [317] Ebenda, S. 44. — [318] Loomis, Contribution to Meteorology, XI, XIV; Z. ö. G. M., XV, S. 293 ff.; XVI, S. 309 ff. — [319] Eliot, Account of the Southwest-Monsoon, Storms generated in the Bay of Bengal during the Years 1877 to 1881, Calcutta 1885. — [320] Knipping, Ueber die Häufigkeit, Bewegung und Tiefe der barometrischen Minima in Japan, M. Z., S. 281 ff. — [321] H. C. Russell, Moving Anticyclones in the Southern Hemisphere, Q. J. M. S., XIX, S. 23 ff. — [322] Hepworth-Campbell, The Tracks of Ocean Wind Systems over Australasia, Q. J. M S., XIX, S. 34 ff. — [323] Brounow, Die fortschreitende Bewegung von Zyklonen und Antizyklonen, Dorpat 1882; Graf Berg, Brounows neue Theorie der fortschreitenden Bewegung von Zyklonen und Antizyklonen, G., XIX, S. 137 ff. — [324] Mühry, Die geographischen Verhältnisse einiger grosser europäischer Stürme, P. G. M., XXIII, S. 21. — [325] Maydell, Ueber die Bestimmung der Sturmbahnen nach den Temperaturveränderungen, Z. ö. G. M., IX, S. 17 ff. — [326] Handbuch der Ozeanographie und maritimen Meteorologie (von Attlmayr und Köttstorfer), II, Wien 1883, S. 732. — [327] Böen und Gewitter, M. Z., XI, S. 312 ff.; C. R., CXVIII, S. 829 ff. — [328] Ueber die Häufigkeit der Stürme zur Zeit der Aequinoktien, A. H. m. M., XII, S. 625 ff. — [329] Knipping, Die Bahnbestimmung der Wirbelstürme durch Normalörter, A. H. m. M., X, S. 71 ff. — [330] W. Köppen, Der Gewittersturm vom 9. August 1881, A. H. m. M, X, S. 604 ff. — [331] van Bebber, Der Sturm vom 11. bis 14. März 1888 an der atlantischen Küste der Vereinigten Staaten, M. Z., VII, S. 121 ff. — [332] Sresnewsky, Die Stürme auf dem Schwarzen und auf dem Asowschen Meere, R. M., XII, Nr. 7. — [333] Staubstürme im südlichen Russland, M. Z., XII, S. 149 ff. — [334] Hann, Handb. d. Klimat., III, S. 208 ff. — [335] Ebenda, III, S. 305. — [336] Ebenda, II, S. 63, 73. — [337] Mohorovičić, Der Tornado bei Novska, Agram 1894. — [338] Assmann-W. Köppen, Der Orkan vom 14. Mai in Crossen an der Oder, M. Z., III, S. 438 ff., 486 ff. — [339] Coaz, Die Stürme vom 20. Februar, 25. Juni und 5. Dezember 1879 und der durch dieselben in den Waldungen der Schweiz angerichtete Schaden, Bern 1880. — [340] E. Hayden, The Law of Storms, N. Gr. M., II, Nr. 3. — [341] Reye, Die Wirbelstürme etc., S. 76 ff. — [342] Schück, Die Wirbelstürme oder Zyklonen mit Orkangewalt, Oldenburg 1881. — [343] F. Hirth, Ursprung und Herleitung des Wortes Taifun, A. H. m. M., IX, S. 80. — [344] M. Z., XIV, S. 186 ff.; K. J., VIII, S. 312 ff. — [345] Handbuch etc., S. 777 ff. — [346] van Bebber, Die Wirbelstürme, D. R., 1878, S. 333 ff. — [347] Orkan auf der Insel Martinique, 18. August 1891, M. Z., VIII, S. 425 ff. — [348] Ballou, The Eye of the Storm, A. M. J., IX, S. 68 ff., 121 ff. — [349] Knipping, Die tropischen Orkane der Südsee zwischen Australien und den Paumotu-Inseln, A. A. D. S., XVI, Nr. 1. — [350] Chevallier, Die Taifune im Chinesischen Meere, M. Z., XI, S. 279 ff. — [351] J. Müller, Lehrbuch der kosmischen Physik, Braunschweig 1875, S. 660. — [352] W. Köppen, Die Bahnen der Orkane im südlichen Indischen Ozean, M. Z., X, S. 113 ff. — [353] Meldrum, Cyclone-Tracks in the South Indian Ocean, London 1891. — [354] Doberck, The Laws of Storms in the Eastern Seas, Hongkong 1886. — [355] Wittwer, Ueber die Umbiegung der Zyklonenbahnen an der Grenze der Passatzone, Z. ö. G. M., X, S. 1 ff. — [356] Viñes, Apuntes relativos a los Huracanes de las Antillas en setiembre y octobre de 1875 y 1876, Havana 1877; W. Köppen, Die Untersuchungen von Pater B. Viñes über westindische Orkane, M. Z., I, S. 348 ff. — [357] Hellmann, Eine historische Bemerkung, Z. ö. G. M., XIX, S. 43. — [358] Strehlke, Ueber den Einfluss der Gewitter auf den Barometerstand, A. P. C., XIX, S. 148 ff. — [359] G. P. W., X, 2, S. 1635 ff. — [360] Finley, The Tornadoes of May 29 and 30 in the States of Kansas, Missouri, Nebrasca and Iova, Annual Report of the Chief Signal Officer to the Secretary of the War, 1880, II, Washington 1881, S. 984 ff. — [361] Ebenda, S. 1028. — [362] Hildebrandsson, Trombe bei Wimmerby in Schweden am 4. Juli 1890, M. Z., VIII, S. 69 ff. — [363] Wigert, Orage accompagné de trombes près Upsala, Stockholm 1888. — [364] Hovey, The Tornado at St. Cloud, A. M. J., III, S. 227 ff. — [365] Finsterwalder, Beobachtungen an einer Trombe, M. Z., XV, S. 79 ff. — [366] Niejahr-Raspe-Seemann, Ueber Wasser- und Windhosen, M. Z., III, S. 358 ff. — [367] Gibson, Water-Spouts on the Gulf Stream in Winter, A. M. J., III, S. 119 ff. — [368] G. P. W., X, 2, S. 1667. — [369] vom Rath, Ueber die Wettersäule, welche am 10. Juni 1858 oberhalb Königswinter zweimal über den Rhein ging, A. P. C., CIV, S. 631 ff. — [370] Less, Sandhose in der Nähe von Berlin, M. Z., VIII, S. 274 ff. — [371] Schläfli, Zur physikalischen Geographie von Untermesopotamien, D. S. N. G., 1864, S. 1 ff. — [372] E. Suess, Das Antlitz der Erde, I, Prag-Leipzig 1885, S. 41 ff. — [373] G. P. W., X, 2, S. 1682. — [374] Reye, a. a. O., S. 252 ff. — [375] Möller, Die zur Erzeugung eines Wirbels erforderliche Kraft, M. Z., XIII, S. 19 ff. — [376] Reye, a. a. O., S. 179. — [377] Faye, Cyclones solaires, C. R., LXXVIII, S. 929 ff.; The Laws of Storms, A. B. L., 1875, S. 401 ff., 475 ff., 597 ff., 535 ff. — [378] Sprung, Lehrb. etc., S. 223 ff. — [379] Brandes, Ueber eine in der Weser beobachtete Erscheinung einer Wasserhose, G. A. P., XXXVI, S. 444 ff. — [380] Weyher, Quelques expériences sur les tourbillons aériens, C. R., CIV, S. 332 ff., 494 ff.; Colladon, Sur les tourbillons aériens, C. R., CIV, S. 640 ff., S. 880 ff., 1079 ff. — [381] Planté-Wallentin, Untersuchungen über Elektrizität, Wien 1886, S. 185 ff. — [382] Piddington, Guide du marin sur la loi des tempêtes, Paris 1859, S. 171. — [383] Engelenburg, Onweders in Nederland naar vrijwillige Waarnemingen in 1891, Amsterdam 1892. — [384] Engelenburg, Aërodynamische Theorie der Gewitter, A. A. D. S., XIX, Nr. 4. — [385] Mohn, Grundzüge der Meteorologie, Berlin 1883, S. 323. — [386] Mohn-Hildebrandsson, Les orages dans la péninsule Scandinave, Upsala 1888. — [387] v. Bezold, Zur Thermodynamik der Atmosphäre, S. A. B., M. P., 1892, S. 295. — [388] v. Bezold, Ueber Gewitterbildung und labiles

Gleichgewicht der Atmosphäre, M. Z., XII, S. 121 ff. — [389] Leyst, Eine vierte Ursache labilen Gleichgewichtes der Atmosphäre, M. Z., XII, S. 313 ff. — [390] Elster-Geitel, Ein Versuch zum Nachweise der Existenz von mit Wasserdampf übersättigter Luft, M. Z., XII, S. 187 ff. — [391] v. Bezold, Zur Thermodynamik der Atmosphäre, M. Z., IX, S. 321 ff. — [392] Grossmann, Gibt es Kältegewitter? W., V, S. 49 ff. — [393] Prohaska, Die Gewitter vom 21. und 22. August 1892 in den Ostalpen, M. Z., X, S. 29 ff. — [394] Mohn, Grundzüge etc., S. 320; Ueber die Gewitter in Norwegen, M. Z., VI, S. 224 ff. — [395] Hann, Gewitterperioden in Wien, M. Z., III, S. 237 ff. — [396] Prestel, Die periodischen und nichtperiodischen Veränderungen des Barometerstandes, Emden 1866. — [397] Hellmann, Ueber die tägliche Periode der Gewitter in Mitteleuropa und einige damit im Zusammenhange stehende Erscheinungen, M. Z., II, S. 433 ff. — [398] Hamberg, Sur la variation diurne de la force du vent, III, Stockholm 1883. — [399] Schultheiss, Zur Frage des sekundären nächtlichen Maximums der Gewitterhäufigkeit, M. Z., II, S. 458 ff. — [400] Hann, Karl Prohaskas Untersuchungen über die Gewittererscheinungen in Steiermark, Kärnten und Oberkrain, M. Z., VI, S. 176 ff. — [401] C. Lang, Ueber die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Gewitter in Süddeutschland, M. Z., IV, S. 233 ff. — [402] A. Krebs, Beiträge zur Kenntnis und Erklärung der Gewittererscheinungen auf Grund der Aufzeichnungen über die Gewitter Hamburgs in den Jahren 1878 bis 1887, Stuttgart 1889. — [403] C. Ferrari, Untersuchungen über die dem „Uffizio Centrale di Meteorologia" mitgeteilten Gewitterbeobachtungen vom Jahre 1881, M. Z., III, S. 368. — [404] Horn, Die Gewitterforschung an der k. bayer. Zentralstation, B. M. St. B., XIV. — [405] Prohaska, Die Gewitter und der Wettersturz am 4. September 1892 in den Ostalpen, M. Z., XI, S. 241 ff. — [406] E. Schneider, Entstehung und Prognose der Wirbelstürme, Regensburg 1895. — [407] Hann, Ueber die Beziehungen zwischen den Luftdruckdifferenzen und der Windgeschwindigkeit nach den Theorien von Ferrel und Colding, Z. ö. G. M., X, S. 81 ff., 97 ff. — [408] Andries, Die Entstehung der Zyklonen, G., XIX, S. 698 ff. — [409] E. Schneider, S. 4. — [410] Günther, Die Mechanik der Gewitterfortpflanzung, H., VII, S. 414 ff. — [411] v. Bezold, Ueber die Verteilung des Luftdruckes und der Temperatur während grösserer Gewitter, Z. ö. G. M., XVIII, S. 281 ff. — [412] C. Ferrari, Osservazioni dei temporali raccolte nel 1880, Mailand 1880; Andamento tipico dei registratori durante un temporale, Rom 1887; Disposizione delle superfici isotermiche in un temporale, L. Ea., VI, Nr. 35; Ferrari-Mantel, Beiträge zur Gewitterkunde, M. Z., V, S. 1 ff., 62 ff. — [413] C. Lang, Gewitterstudien in Italien, Z. ö. G. M., XIX, S. 353 ff. — [414] v. Bezold-Lang, B. M. St. B., I, S. XXXVII. — [415] C. Ferrari, Untersuchungen etc., S. 353 ff. — [416] Symons, On Barometric Oscillations during the Tempest, P. R. S., XLVIII, S. 53 ff. — [417] Börnstein, Die Gewitter vom 13. bis 17. Juli 1884 in Deutschland, Hamburg 1886. — [418] Börnstein, Bewegung einer Böe über Berlin, M. Z., II, S. 194 ff. — [419] Eine Stadt ohne Gewitter, W., III, S. 165. — [420] Künzer, Ueber den Einfluss des Waldes auf den Zug der Gewitter im Kreise Marienwerder, S. N. G. D., (2) IV, 4. Heft. — [421] v. Bezold, Ueber zündende Blitze in Bayern, Z. ö. G. M., XX, S. 50 ff. — [422] v. Rohr, Die Gewitter vom 11. Dezember 1891 im Zusammenhange mit den gleichzeitigen Witterungserscheinungen, Berlin 1895. — [423] Schmidt, Zur Bewegung der Gewitter in der Nähe von Flüssen und Bergen, M. Z., X, S. 338 ff. — [424] Erk, Ueber die Einwirkung von Flussläufen auf eine darüber befindliche Wolkendecke, J. A. M., I, S. 37 ff. — [425] H. Meyer, Die Gewitter des oberen Leinethales am 1. Juni 1886, M. Z., III, S. 345 ff. — [426] Mädler, Die Gebirge als Wetterscheiden, F. Z., 17. April 1887. — [427] G. P. W., V, I, S. 30 ff. — [428] R. Russell, On Hail, London 1893. — [429] Baurmeister, Geschichte der Hageltheorien, Glückstadt 1877. — [430] Wähner, Historisch-kritische Uebersicht über die Hageltheorien, Rotterdam 1876 (Gekrönte Preisschrift). — [431] Ebenda, S. 16 ff. — [432] G. P. W., V, I, S. 42. — [433] Ebenda, S. 52. — [434] F. Horn-C. Lang-Tillmann, Beobachtungen über Gewitter in Bayern, Württemberg und Baden im Jahre 1887, B. M. St. B., IX. S. IL ff.; für 1889, ebenda, XI; für 1890, ebenda, XII; F. Horn, Gewitter und Hagelschläge während der Jahre 1880—88, M. Z., VI, S. 271 ff. — [435] F. Sarrazin, Wandkarte zur Darstellung der Hagelstatistik (1883—1892) von Norddeutschland, Berlin 1893; J. Partsch, Schlesien; eine Landeskunde für das deutsche Volk auf wissenschaftlicher Grundlage, I (Land und Leute), Breslau 1896, S. 258. — [436] Heck, Die Hagelverhältnisse Württembergs in dem Zeitraume von 1828—90 mit besonderer Berücksichtigung der Bewaldung des Landes, Stuttgart 1892. — [437] Bühler, Die Hagelbeschädigungen in Württemberg während der sechzig Jahre 1828—87, Stuttgart 1890. — [438] C. Lang, Bühlers Hagelstatistik und vorläufige Mitteilung einer säkulären Periode der Hagel- und Blitzgefahr, M. Z., VIII, S. 6 ff. — [439] G. A. P., XVI, S. 75; LXXII, S. 434; LXXVI, S. 340 ff. — [440] Schwedoff, Der Ursprung des Hagels, G., XIX, S. 20 ff. — [441] G. P. W., V, 1, S. 37; G. A. P., LXVIII, S. 323. — [442] Brenner, Ueber eine beim Sprengen der Steine bemerkte Erscheinung, A. M. P., XX, S. 352. — [443] Schips, Form der Hagelkörner, M. Z., XII, S. 395 ff. — [444] Seeland, Hagelschlag in Klagenfurt am 20. Mai 1892, M. Z., IX, S. 277. — [445] Abich, Ueber den krystallinischen Hagel im trialethischen Gebirge und über die Abhängigkeit der Hydrometeore von der Physik des Bodens, Tiflis 1871; 2. Aufl., Wien 1879; Z. ö. G. M., IV, S. 417 ff.; VIII, S. 438 ff. — [446] Hagenbach-Merian, Ueber krystallinischen Hagel, Z. ö. G. M., XV, S. 132 ff. — [447] W. Köppen, Hagelformen, M. Z., V, S. 425 ff. — [448] Reynolds, Ueber die Bildung der Regentropfen und Hagelsteine, Z. ö. G. M., XII, S. 39 ff.; On the Manner in which Raindrops and Hailstones are formed, N., XV, S. 263 ff. — [449] G. P. W., V, 1, S. 39. — [450] Kl. Hess, Ueber den Hagelschlag im Kanton Thurgau am 6. Juni 1891, M. Z., VIII, S. 408 ff. — [451] van Bebber, Lehrb. der Meteorol., S. 235 ff.; Wurffbain, De admirandis grandinis figuris, M. C. A. N. C., 1685, — [452] H. Fritz, Die geographische Verteilung des Hagels, P. G. M., XXII, S. 362 ff. — [453] v. Danckelman, Regen, Hagel und Gewitter im Indischen Ozean, Hamburg 1880. — [454] A. v. Humboldt, Rélation historique sur le voyage aux régions équinoxiales du nouveau continent, III, Paris 1825, S. 193. — [455] van Bebber, Die Regenverhältnisse Deutschlands, München 1877, S. 4. — [456] Ernst, A remarkable Hailstorm, N., XXXIV, S. 122. — [457] Hagelstürme, M. Z., X, S. 225 ff.; N., XLVII, S. 573 — [458] Harris, Hagel auf offenem Meere, M. Z., XII, S. 437. — [459] G. P. W., V, 1, S. 49. — [460] C. Neumann-Partsch, S. 75. — [461] G. P. W., V, 1, S. 82 ff. — [462] La Postolle, Traité des parafoudres et des paragrêles en cordes de paille, Amiens 1820. — [463] Orioli, Dei paragrandini metallici, Bologna 1826. — [464] Kornmann, Ist der Gedanke einer Hagelableitung vernünftig, möglich, ausführbar? Regensburg s. a. — [465] Romstöck, Die Astronomen, Mathematiker und Physiker der Diözese Eichstätt, I, Eichstätt 1884, S. 35. — [466] Pl. Heinrich, Elektrischer Versuch, wodurch Wassertropfen in Hagelkörner verändert worden, samt der Frage an die Naturforscher: Ist eine Hagelableitung ausführbar?, Nürnberg 1790. — [467] Fresnel, Sur l'ascension des nuages dans l'atmosphère, A. C. P., XXII, S. 703 ff. — [468] Arago, Ueber den Hagel und die Hagelableiter, A. P. C., XIII, S. 344 ff. — [469] Ch. Dufour, De la quantité de grêle tombée pendant les orages du 21 août 1881 et du 13 juillet 1788, et quelques mots sur l'histoire des paragrêles, A. s. p. n., (2) VIII, S. 168 ff. — [470] Zerstreuung von Hagelwolken durch Schiessen, M. Z., XIV, S. 32; G., XXXIV, S. 308 ff.; K. J., VIII, S. 322 ff. — [471] Trabert, Zerstreuung von

Hagelwolken durch Schiessen, M. Z., XIV, S. 148 ff. — [472] Plumandon, Influence des forêts et des accidents du sol sur les orages à grêle, Clermont-Ferrand 1893; La marche des orages, ebenda 1894. — [473] Kl. Hess, Ueber den Hagelschlag etc., S. 401 ff. — [474] Bühler, Ergebnisse einer 55jährigen Hagelstatistik, V. N. G. Z., 1884, S. 180. — [475] Kl. Hess, Die Hagelschläge in der Schweiz in den Jahren 1883—91 und Theorie der Entwickelung und des Verlaufes der Hagelwetter, Frauenfeld 1894. — [476] C. Lang, Bühlers Hagelstatistik etc., S. 14. — [477] Prohaska, Die Hagelschläge des 21. August 1890 in Steiermark, M. Z., VIII, S. 121 ff. — [478] Aristoteles, Meteorologia, lib. I, cap. 11. — [479] Dieterici, Die Naturanschauung und Naturphilosophie der Araber im X. Jahrhundert, Posen 1864, S. 80 ff. — [480] Stenzel, Beobachtung eines St. Elms-Feuers unter Schnee- und Regenfall, G., XIX, S. 216 ff. — [481] Musschenbroek, Introductio in philosophiam naturalem, II, Leiden 1762 (posthum), S. 106 ff. — [482] Monesier, Dissertation sur la nature et la formation de la grêle, Bordeaux 1752. — [483] Beccaria, Lettere dell' elettricismo, Bologna 1758. — [484] Mongez, Sur la formation des grêles, J. P., XII, S. 202 ff. — [485] G. P. W., V, 1, S. 54. — [486] Deluc, Nouvelles idées sur la météorologie, II, deutsch, Berlin-Stettin 1788, S. 114 ff. — [487] Lampadius, Systematischer Grundriss der Atmosphärologie, Freiberg 1806, S. 153 ff. — [488] Lichtenberg, Ueber die Entstehung des Hagels, Phys. u. Math. Schriften, herausgegeben von Kries, III, Göttingen 1804, S. 85 ff. — [489] Volta, Sopra la grandine, M. I. N. I., F. M., I, 2, S. 125 ff. — [490] Riccardi, Sulle opere di Alessandro Volta, Modena 1877, S. 33. — [491] Beliani, Sopra la cristallizzazione e congelazione, G. F. P., X, S. 359 ff. — [492] Prechtl, Widerlegung der Voltaschen Hageltheorie, G. J. P., VII, S. 223 ff. — [493] Bombicci, Sulla formazione della grandine e sopra i fenomeni chi la accompagnano, M. A. S. B., (4) IX, S. 141 ff. — [494] Raganti, Osservatorio meteorologico nel seminario vescovile di Sarzana, Sarzana 1895, S. 17 ff. — [495] Marangoni, Sull' origine della grandine, A. R. A. L., 1893, II, S. 346 ff.; Pernter, Prof. C. Marangoni, Ueber den Hagel, M. Z., XI, S. 300 ff. — [496] Lecoc, Quelques observations sur la formation de la grêle, C. R., II, S. 326. — [497] Planté-Wallentin, S. 174 ff. — [498] Wachlowsky, Die Hagelverhältnisse in der Bukowina, S. A. W., M. N., 1887, S. 58 ff. — [499] L. v. Buch, Ueber den Hagel, A. A. B., P. K., 1814, S. 75 ff. — [500] Ideler, Untersuchungen über den Hagel und die elektrischen Erscheinungen unserer Atmosphäre, Leipzig 1853. — [501] J. T. Mayer, Lehrbuch über die physikalische Astronomie, Meteorologie und Theorie der Erde, Göttingen 1805, S. 278 ff. — [502] G. P. W., V, 1, S. 64 ff. — [503] Wähner, a. a. O., S. 53 ff. — [504] Wähner, S. 64 ff. — [505] De la Rive, Traité d'électricité théorique et pratique, III, Paris 1858, S. 178 ff. — [506] K. A. Vogel, Zusammensetzung der Hagelkörner vom 26. August 1855, G. A. A. M., 10. November 1855. — [507] J. Müller, Lehrb. d. kosm. Physik, S. 724 ff. — [508] Schwaab, Versuch einer neuen Theorie der Hagelbildung, Marburg i. H. 1844; Die Hageltheorien älterer und neuerer Zeit, deren Nachweis in der Litteratur nebst teilweiser kritischer Beleuchtung, Kassel 1878. — [509] J. Müller, S. 728. — [510] Wähner, S. 42 ff. — [511] Ebenda, S. 69 ff. — [512] Mohr, Ueber die Entstehung des Hagels, A. P. C., CXVII, S. 89 ff.; Bestätigung meiner Hageltheorie, A. P. C., CXX, S. 167 ff. — [513] Wähner, S. 64 ff. — [514] Gemmel, Woher kommt die Kälte, die Massen von Wasser zum Gefrieren bringt, die als Hagel herabfallen? G., XVIII, S. 625 ff. — [515] Andries, Die Entstehung der Zyklonen, G., XIX, S. 701 ff. — [516] W. Köppen, Ueber Coustés atmosphärische Wirbel, Z. ö. G. M., XVIII, S. 355 ff. — [517] Sprung, Lehrb. d. Met., S. 296. — [518] Möller, Untersuchung über die Lufttemperatur und Luftbewegung in einer Böe, M. Z., I, S. 230 ff. — [519] Engelenburg, a. a. O., S. 29. — [520] Dary, La grêle et l'électricité, R. J. E., VI, S. 241 ff., 330 ff., 377 ff. — [521] Tomlinson, On the Theory of Hail, P. M., (5) XXVIII, S. 169 ff. — [522] Sprung, Ueber die Theorie der allgemeinen Windsysteme der Erde, mit besonderer Rücksicht auf den Antipassat, M. Z., VII, S. 161 ff. — [523] J. Thomson, On the grand Currents of the Atmospherie Circulation, R. B. A. 1857, S. 38 ff.; Ferrel-Fr. Waldo, The Motions of Fluids and Solids on the Earths' Surface, Professional Papers of the Signal Service, VIII, Washington 1882; A Popular Treatise of the Winds, ebenda 1889. — [524] W. Siemens, Ueber das allgemeine Windsystem der Erde, M. Z., VII, S. 321 ff. — [525] Pernter, Die allgemeine Zirkulation der Erde, W., 1890, S. 11 ff., 158 ff. — [526] Sprung, William Ferrels Untersuchungen über atmosphärische Wirbel, Z. ö. G. M., XVII, S. 161 ff., 276 ff. — [527] Sprung, Lehrb. d. Met., S. 198. — [528] Ebenda, S. 205. — [529] Ferrel-Fr. Waldo, The Motion etc., S. 30 ff. — [530] Ebenda, S. 35. — [531] M. Z., VII, S. [41] ff. — [532] Abercromby, Upper Wind-Currents near the Equator and the Diffusion of Krakatoa Dust, N., XXXVI, S. 85, 222. — [533] Möller, Die Reibung atmosphärischer Luft und die Druckverteilung, M. Z., XII, S. 376 ff. — [534] Teisserenc de Bort, Isobares, vents et isonèphes d'été sur l'Atlantique, C. R., CII, S. 1381 ff. — [535] Hildebrandsson, Die mittlere Bewegung der oberen Luftströme, M. Z., III, S. 23. — [536] W. Siemens, Ueber die Erhaltung der Kraft im Luftmeere, S. A. B., 4. März 1886. — [537] W. Siemens, Zur Frage der Luftströmung, M. Z., IV, S. 425 ff. — [538] M. Z., III, S. 233 ff. — [539] Teisserenc de Bort, Report on the present State of our Knowledge respecting the General Circulation of the Atmosphere, London 1893. — [540] Günther, Die Knotenlinien der Atmo- und Hydrosphäre, Festschr. d. Hamb. Mathem. Gesellsch., II, Hamburg 1890, S. 15 ff. — [541] Oberbeck, Ueber die Bewegungserscheinungen der Atmosphäre, M. Z., V, S. 305 ff. — [542] Newton-Wolfers, Mathematische Prinzipien der Naturlehre, Berlin 1872, S. 317 ff. — [543] Schneidemühl, Abhängigkeit der Rotationsgeschwindigkeiten und der Rotationsmomente von der geographischen Breite und dem Bewegungszustande der Luft, M. Z., VII, S. 394 ff. — [544] H. v. Helmholtz, Ueber atmosphärische Bewegungen, S. A. B., 1887, S. 647 ff.; Ueber atmosphärische Bewegungen, M. Z., V, S. 329 ff.; VII, S. 81 ff. — [545] Rausenberger, Hydrodynamische Untersuchungen und deren Anwendung auf die Bewegungen der Atmosphäre, Frankfurt a. M. 1895. — [546] Oberbeck, Besprechung hiezu, M. Z., XII, S. [70] ff. — [547] H. v. Helmholtz, Ueber Integrale der hydrodynamischen Gleichungen, welche den Wirbelbewegungen entsprechen, J. r. a. M., LV, S. 25 ff. — [548] Christiansen-Joh. Müller, Elemente der theoretischen Physik, Leipzig 1894, S. 139. — [549] v. Helmholtz, M. Z., V, S. 338 ff. — [550] M. Töpler, Ueber Beobachtungen von Windwogen, A. P. C., (2) LVII, S. 472 ff. — [551] Wolffhügel, Ueber den Einfluss der Barometerschwankungen auf die Bodengase, T. 50. N. V., S. 355 ff. — [552] Renk, Ueber das Eindringen der Bodenluft in die Häuser, T. 54. N. V., S. 193 ff. — [553] Hensele, Untersuchungen über den Einfluss des Windes auf den Boden, F. A., XVI, S. 1 ff. — [554] Recknagel, Ueber Luftwiderstand, A. P. C., (2) X, S. 677 ff.

Kapitel VII.

Allgemeine Klimatologie.

§. 1. **Klimatologie und Klimatographie.** „Unter Klima verstehen wir,“ so drückt sich das Werk von Hann [1] aus, von welchem abzuweichen kein Grund vorliegt, „die Gesamtheit der meteorologischen Erscheinungen, welche den mittleren Zustand der Atmosphäre an irgend einer Stelle der Erdoberfläche charakterisieren.“ Die Entstehung des Wortes wird im nächsten Paragraphen berührt, wobei sich zeigen wird, dass dasselbe seinem ursprünglichen Sinne nur sehr bedingt entspricht. Aber schon seit mehreren Jahrhunderten hat sich diese erweiterte Bedeutung des Wortes allgemein eingebürgert; Wetter oder Witterung kennzeichnet das unbeständige, Klima kennzeichnet das stabile Element in der atmosphärischen Physik.

Aufgabe desjenigen, der das Klima einer Oertlichkeit ermitteln will, ist es, zuzusehen, ob sich nicht trotz des Umstandes, dass die Witterung in kurzer Zeit die mannigfaltigsten Wechsel mit sich bringen kann, atmosphärische Eigentümlichkeiten erkennen lassen, die immer und immer wieder in derselben Art und Weise hervortreten, ob sich nicht konstante Züge aus dem Wirrsale der Erscheinungen herausschälen lassen. Hier gilt im vollsten Maſse, was Schillers bekanntes Gedicht überhaupt als das Merkmal der Thätigkeit des Forschers angibt: „Er sucht den ruhenden Pol in der Erscheinungen Flucht.“ Witterung und Klima sind deshalb nicht etwa nahe übereinstimmende Begriffe, wie man wohl gelegentlich geglaubt hat; es sind vielmehr Gegensätze. Von keinem Orte kann man sagen, er habe dieses oder jenes Wetter, denn solches dauert immer nur kürzere Zeiten an, während jedem Orte ein bestimmtes Klima zugehört, mag es auch oft schwierig genug sein, die Eigenart desselben richtig zu bestimmen. Die Lehre vom Klima hat es niemals mit augenblicklichen, immer nur mit mittleren Zuständen der Atmosphäre zu thun.

Diese Zustände hängen von festen Gesetzen ab, welche zum Teile einen physikalischen, zum Teile auch einen geographischen Charakter an sich tragen. Die Feststellung der Gesetze liegt einer besonderen Unterabteilung der Atmosphärologie ob, der allgemeinen Klimatologie. Wenn es sich dann darum handelt, Anwendungen von dieser Disziplin auf besondere Fälle zu machen, so tritt an die Stelle der wesentlich theoretischen Klimatologie die beschreibende Klimatographie, welcher das nächste Kapitel eingeräumt ist.

Mitunter wird durch das Wort Klimatologie überhaupt die Klimakunde im ganzen, unbeschadet ihrer verschiedenen Abzweigungen, zusammengefasst, und alsdann kann das Wort, wie auch Hellmann erklärt [2], als identisch mit geographischer Meteorologie genommen werden. In diesem Sinne ist das Wort bei anderer Gelegenheit näher zu umschreiben versucht worden [3]. — In deutscher Sprache ist wohl Gronaus nur im Manuskripte vorhandene Abhandlung [4] „Ueber das Klima verschiedener Weltgegenden“ eine der ersten Bearbeitungen der Klimatologie — wenn nicht die erste — in systematischer Form gewesen. Es folgten die Schriften von Klauprecht [5], Heyer [6], Mühry [7], Lorenz v. Liburnau-Rothe [8], von denen zumal die letztere bis zum Erscheinen des Hannschen Werkes unstreitig das beste Hilfsmittel der Belehrung darstellte. Neben diesem besitzt die deutsche Litteratur auch die zwei Bände einer umfassenden Darstellung von Woeikow [9], welche mehr wie eine Sammlung klimatologischer Monographien, denn als Lehrbuch im engeren Wortsinne zu betrachten sind. Sehr anerkennenswert ist auch der kürzere Lehrbegriff von De Marchi [10]. Im übrigen muss daran erinnert werden, dass alle Lehrbücher der Meteorologie so-

wohl wie auch der physikalischen Geographie die Klimakunde mit berücksichtigen; in letzterer Beziehung möchten wir insbesondere auf das Werk von Supan [11] hinweisen, während in ersterer §. 2 in Kap. I die nötigen Aufschlüsse gibt. Neben den didaktischen Büchern darf auch die für den ausübenden Klimaforscher hervorragend nützliche Anweisung, aus meteorologischen Beobachtungen klimatologische Schlüsse zu ziehen, wie wir sie von H. Meyer [12] besitzen, nicht übergangen werden.

A. v. Humboldt wollte das Klima nur in allerengster Beziehung zum Menschengeschlechte aufgefasst wissen [13]: „Der Ausdruck Klima bezeichnet in seinem allgemeinsten Sinne alle Veränderungen in der Atmosphäre, die unsere Sinne merklich affizieren.“ Wäre dem wirklich so, dann würde der Satz zutreffen: Ohne Menschen kein Klima. Nun haben wir aber früher (I, S. 132) uns mit den klimatischen Verhältnissen entfernter Weltkörper beschäftigt, deren Bewohnbarkeit überaus zweifelhaft ist; in Kap. IX werden wir das Klima solcher Perioden der Erdgeschichte studieren, während deren ganz gewiss noch keine Menschen auf unserem Planeten gelebt haben, und trotzdem sind Forschungen über solche klimatische Verhältnisse zulässig und nützlich. Es erhellt ja auch, dass der grosse Naturforscher nicht etwa derartiges ausgeschlossen haben wollte; es war nur eben seine Ausdrucksweise keine ganz glückliche. Immerhin hat er, und das gilt auch für unsere Darstellung, darin recht, dass den Beziehungen zwischen Klimakunde und Anthropogeographie, dies Wort in dem von Ratzel [14] gewählten Sinne genommen, besonderes Gewicht beigemessen werden soll.

§. 2. **Solares und physisches Klima.** Das Wort Klima (κλῖμα) bedeutet ursprünglich so viel wie Neigung (κλίνειν, sich neigen); damit soll ausgesagt werden, dass, wenn die Erde von einer allerorts gleichartigen, nach einem geometrischen Gesetze gestalteten Fläche umschlossen wäre, die atmosphärischen Zustände ausschliesslich durch den Neigungswinkel der einfallenden Sonnenstrahlen gegen den Horizont bedingt sein würden. Was wir für gewöhnlich Klima nennen, ist nun aber nicht dieses theoretische oder solare Klima, an welches auch die bekannte Zoneneinteilung der Erdoberfläche erinnert [15], sondern wir haben es im gewöhnlichen Leben mit dem physischen Klima zu thun, dem Ergebnis aller jener Veränderungen, welchen das solare Klima infolge der Ungleichartigkeit der Oberflächenbeschaffenheit unseres Erdballes ausgesetzt ist.

Wenn ein Parallelstrahlenbündel — und bei der ungeheuren Erddistanz der Sonne dürfen deren Strahlen als parallel angesehen werden — eine Ebene trifft, so gilt der Satz Lamberts [16], der allerdings vor ihm schon gelegentlich angewendet, aber erst von ihm zur Grundlage der theoretischen Klimatologie gemacht wurde. Er lautet: Die thermische Intensität des Strahlenbündels ist proportional dem Sinus des Neigungswinkels der Strahlen. Zum Beweise kann man sich, nach Massgabe von Fig. 59 a, wenn AB die horizontale Fläche ist, mit welcher der Strahl CD den Winkel α bildet, CD in eine horizontale Komponente ED und in eine vertikale Komponente FD zerfällt denken; ED kommt nicht zur Geltung, und die allein wirksame Kraft FD ist gleich CD sin α. Man kann jedoch auch (Fig. 59 b) sich vorstellen, die Strecke $A_1 B_1$, welche zuerst von den Strahlen senkrecht, mit der Kraft J, getroffen wurde, sei aus dieser Lage heraus, um den Mittelpunkt M, in die Lage AB gedreht worden, so dass AB mit der Strahlenrichtung jetzt den Winkel α einschliesst. Dann besteht, wenn J_1 die jetzt noch vorhandene Bestrahlungskraft bedeutet, die Proportion $J_1 : J = MN : MA = MN : MA_1$, oder es ist, $J_1 = J \sin \alpha$. Beide Beweisarten führen auf das nämliche Endergebnis. Die Beziehungen zwischen der Sonnenhöhe h, der Sonnendeklination δ und der geographischen Breite φ fliessen aus Fig. 60. E ist hier der Mittelpunkt der Erdkugel, AA′ der Aequator, HH′ der Horizont des Punktes B, so dass also, wenn BE gezogen wird, $\sphericalangle AEB = \varphi$, $\sphericalangle HBE = 90^0$ wird. Ein Strahl des von der Sonne S ausgehenden Parallel-

strahlenbündels geht durch E, ein anderer durch B, und es ist jetzt $\sphericalangle AES = \delta$, $\sphericalangle HBS = h$. Wenn sich BH und SE in L schneiden, so ist im Dreieck EBL ersichtlich $h + \varphi - \delta = 90^0$. Der Sinus des Winkels, welchen die Verbindungslinie Erde-Sonne mit einem Erdhalbmesser bildet, ist gleich dem Kosinus der mittäglichen Sonnenhöhe jenes Ortes, nach welchem der Radius gezogen war.

Die Zonenlehre stammt (I, S. 138) von dem Pythagoreer Parmenides, dessen eigentümliche Ansichten uns übrigens erst durch eine Abhandlung von H. Berger [17] zum vollen Verständnis gebracht worden sind. Der griechische Naturphilosoph unterschied zwischen den astronomischen und den physisch-geographischen Erdgürteln, durch welch letztere das menschliche Leben hauptsächlich

Fig. 59 a.

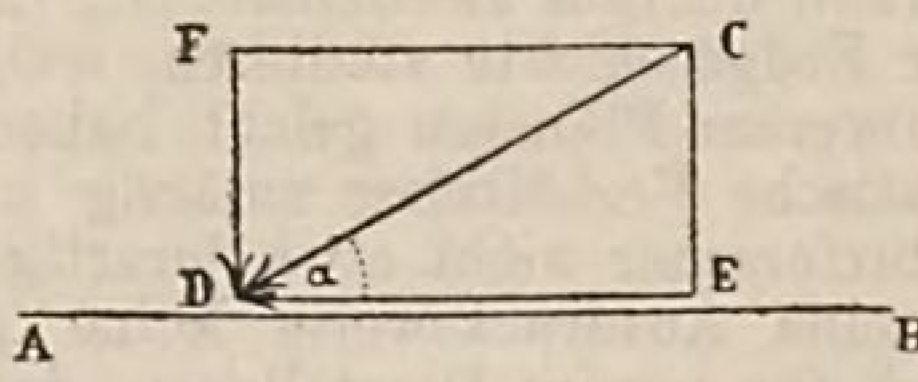
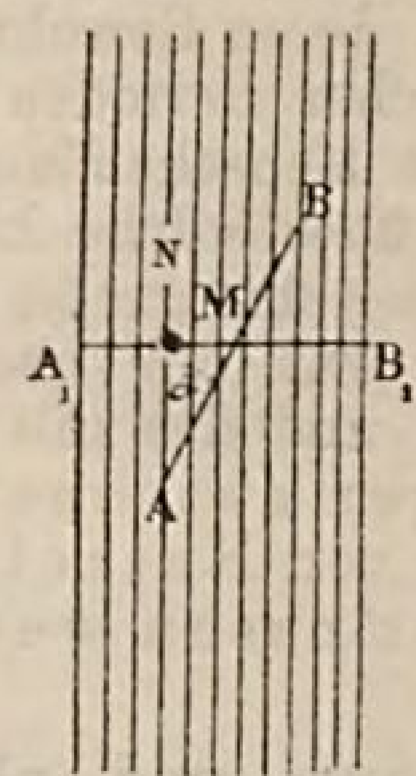


Fig. 59 b.

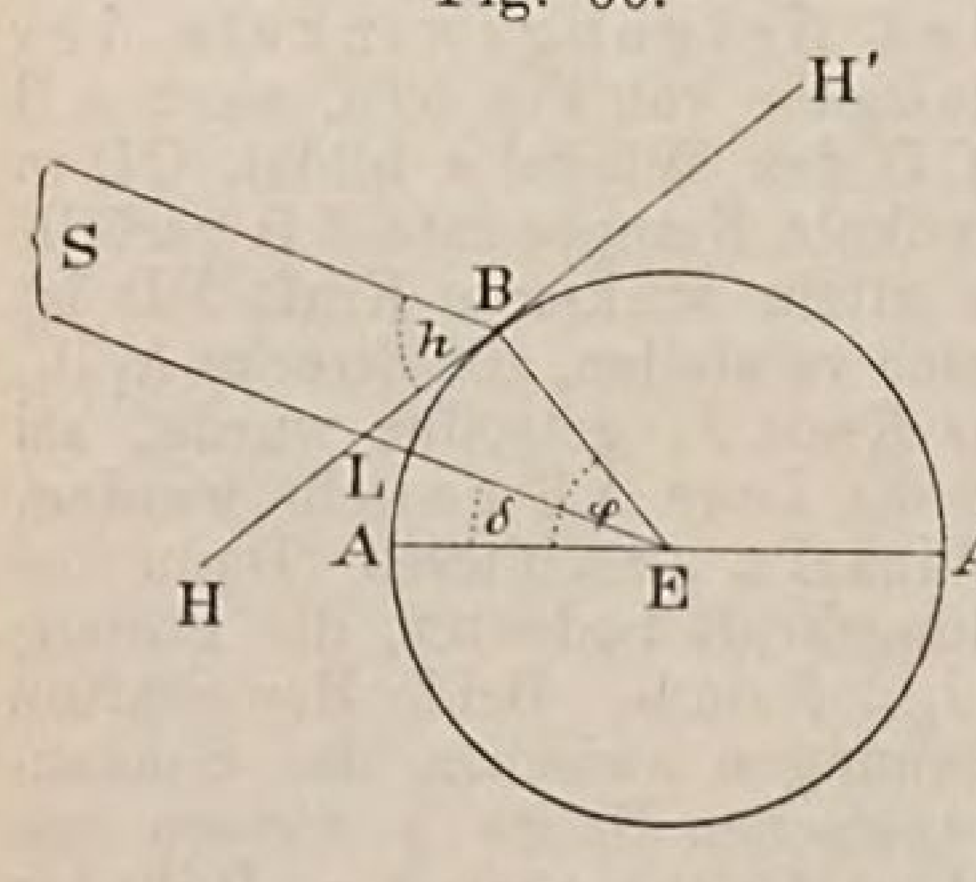


bedingt sein sollte. Die alexandrinische Schule verwarf mit gutem Rechte diesen zweiten Teil der Lehre des Parmenides [18], aber der erste hat sich durch alle Zeiten hin erhalten, und wir halten nach wie vor daran fest: Es gibt fünf Erdzonen (eine heisse, zwei gemässigte und zwei kalte), als deren Grenzen die Wendekreise ($\pm\ \varepsilon = 23^1/_2{}^0$) und die Polarkreise ($\pm\ (90^0 - \varepsilon) = 66^1/_2{}^0$) zu gelten haben. Diese Grenzen sind nicht konstant, schwanken aber nur (I, S. 259) zwischen Extremlagen, welche nicht sehr weit voneinander entfernt sind.

Wird die Erde als eine Kugel vom Radius r vorausgesetzt, so sind die Flächeninhalte der tropischen, je einer gemässigten und je einer polaren Zone (Z_h, Z_g, Z_k) durch nachstehende Ausdrücke gegeben: $Z_h = 4r^2\pi \sin 23^1/_2{}^0$; $Z_g = 4r^2\pi \cos 45^0 \sin 21^1/_2{}^0$; $Z_k = 4r^2\pi \sin^2 11^3/_4{}^0$. Die heisse Zone übertrifft somit an Grösse namhaft jede Zone einer anderen Gattung.

§. 3. **Die klimatischen Faktoren.** Der vorige Paragraph belehrte uns darüber, dass die Sonnenwärme, also dasjenige Element, welches auf die Gestaltung des Klimas den zweifellos bedeutendsten Einfluss ausübt, wesentlich durch den Winkel bedingt erscheint, den die Wärmestrahlen mit der Erdoberfläche einschliessen. Die Insolation bewirkt aber auch, dass die sämtlichen meteorologischen Erscheinungen der betreffenden Erdstelle ein bestimmtes charakteristisches Gepräge erhalten, welches nur eben unter der Einwirkung jener regionalen und örtlichen Besonderheiten, die dem physischen Klima (s. o.) entsprechen, von dem durch die geometrische Betrachtung geschaffenen, normalen Bilde abweichen. Um diese Abweichungen richtig würdigen

Fig. 60.



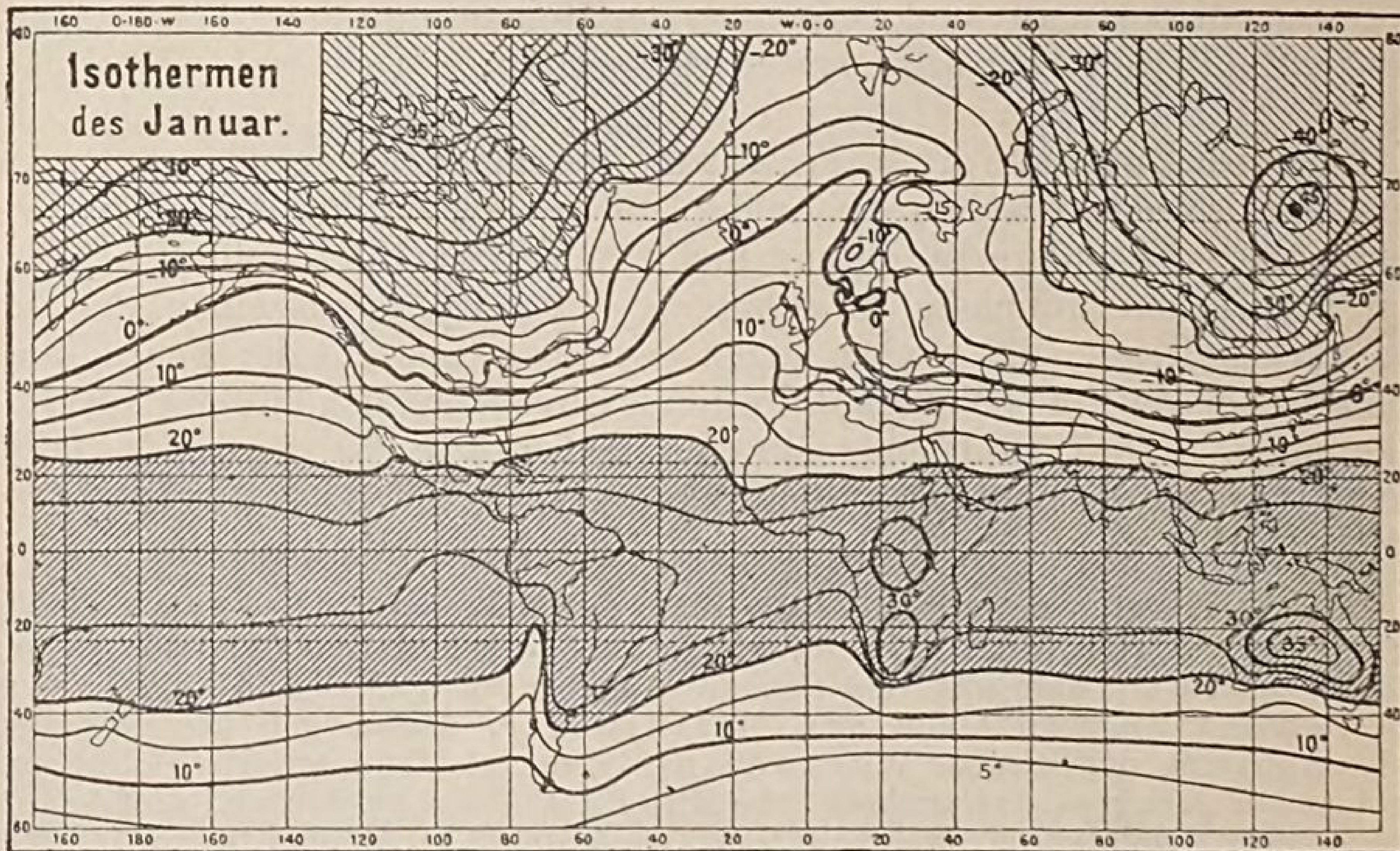
zu können, müssen wir die klimatischen Elemente oder Faktoren der Gegend, des Ortes kennen lernen und möglichst genau in Zahlen ausdrücken. Klimatische Tabellen, welche diese Zahlen übersichtlich zusammenstellen, liefern, im Vereine mit den zugehörigen graphischen Darstellungen, die eigentliche Klimacharakteristik. Als solche Faktoren führt Hann, und zwar nach der Reihenfolge ihrer Wichtigkeit, diese auf [19]: Temperaturverhältnisse, strahlende Wärme, Luftfeuchtigkeit, Niederschläge, Bewölkung, Luftdruck, Winde und Luftzusammensetzung, wogegen den Veränderungen der atmosphärisch-elektrischen Spannung unter dem klimatologischen Gesichtspunkte besondere Beachtung nicht zu Teil zu werden braucht [20]. Wir besprechen nunmehr in gebotener Kürze diese einzelnen Punkte, uns vorbehaltend, später noch eigens auf zwei indirekt der Beurteilung klimatischer Zustände Vorschub leistende Erscheinungskomplexe zurückzukommen. Dies sind einerseits die Schneedecke und die Eisverhältnisse der Gewässer und andererseits die periodisch wiederkehrenden Phänomene im Leben der Organismen.

a) **Temperaturverhältnisse.** Wie man das Mass der Luftwärme findet, wurde bereits erörtert (S. 51); ebenso, wie die Beobachtungstermine gewählt werden müssen, um zuverlässige und vergleichbare Angaben zu ermöglichen (S. 78). Aus den einzelnen Angaben bildet man Mittelwerte. Hiezu gab als einer der ersten Anleitung der Schwede Wargentin [21], der als Tagesmittel — allerdings nicht genau genug — das arithmetische Mittel aus dem höchsten und niedrigsten Thermometerstande nahm, während er das Jahr selbst in Abschnitte von je zehn Tagen (Monatstriaden) zerlegte, für jede Triade das Mittel bildete und, um die mittlere Jahrestemperatur zu erhalten, aus den Triadenmitteln wiederum den Mittelwert zog. Heutzutage berechnet man die Monatsmittel und gewinnt aus ihnen durch Addition und Division mit 12 das Jahresmittel. Wenn lange Beobachtungsreihen vorliegen, so wird die Genauigkeit der Monatsmittel eine überraschend grosse. Zieht man die niedrigste Mitteltemperatur eines Jahres von der höchsten ab, so erhält man die mittlere Jahresschwankung der Temperatur. Orte, welche in dieser Hinsicht gleiche Zahlen aufweisen, verbindet man durch die von Supan [22] eingeführten, von Wild [23] für das russische Weltreich exakt konstruierten Isotalantosen, welche allerdings, wie Hann bemerkt [24], früher schon, als Isoparallagen, von Krecke, Keith Johnston und Buys Ballot, in kleinerem Massstabe verzeichnet worden waren (ταλαντοῦσθαι, schwanken; παραλλαγή, Unterschied). Wir werden den Nutzen dieser Linien später noch kennen lernen. Soweit bezog sich alles auf die Jahresperiode der Temperatur; nunmehr bedarf aber auch die Tagesperiode der Berücksichtigung, vor allem die Tagesamplitude, die Differenz zwischen höchstem und niedrigstem Thermometerstande des Tages; übrigens fällt diese Zahl gewöhnlich nicht gleich aus, wenn man sie einmal aus 24stündigen Tagesbeobachtungen, dann aber aus den Notaten des Maximum- und Minimumthermometers (S. 54) ableitet. Bei besonders scharfen Bestimmungen klimatischer Eigenart wird auch zu ermitteln sein, welche mittlere Wärme am fraglichen Orte zu einer gewissen, ausgezeichneten Tagesstunde herrschte. Aber auch die unperiodischen Temperaturveränderungen wollen nicht vergessen sein; sind dieselben unerheblich, so spricht man von einem konstanten, im anderen Falle von einem veränderlichen Klima [25]. Wir müssen die mittleren absoluten Jahresextreme kennen, wozu uns die Arbeiten van Bebbers [26] und die von diesem Meteorologen durchgeführte Konstruktion der Linien gleicher absoluter Jahresschwankung die beste Hilfe gewähren. Der Klimatologe verlangt weiter auch die mittleren Monats- und Jahresextreme [27], sowie, wenn es sich um feinere Klimabeschreibung handelt, auch eine Angabe über die Häufigkeit bestimmter Temperaturen und Temperaturintervalle. Für Berlin hat Perlewitz [28], für Triest und Pola hat Mazelle [29] eine solche mühsame Untersuchung durchgeführt. So kann man auch den wahrscheinlichsten oder Scheitelwert der Temperatur für ein gegebenes Intervall finden, wie dies von H. Meyer [30] des näheren dargelegt worden ist, und zwar

in Verbindung mit einer kritischen Besprechung der meteorologischen Mittelwertrechnung überhaupt.

Dem Vorgange A. v. Humboldts [31] entsprechend, hat man sich gewöhnt, alle Orte der Erde, welchen gleiche Mitteltemperatur innerhalb eines

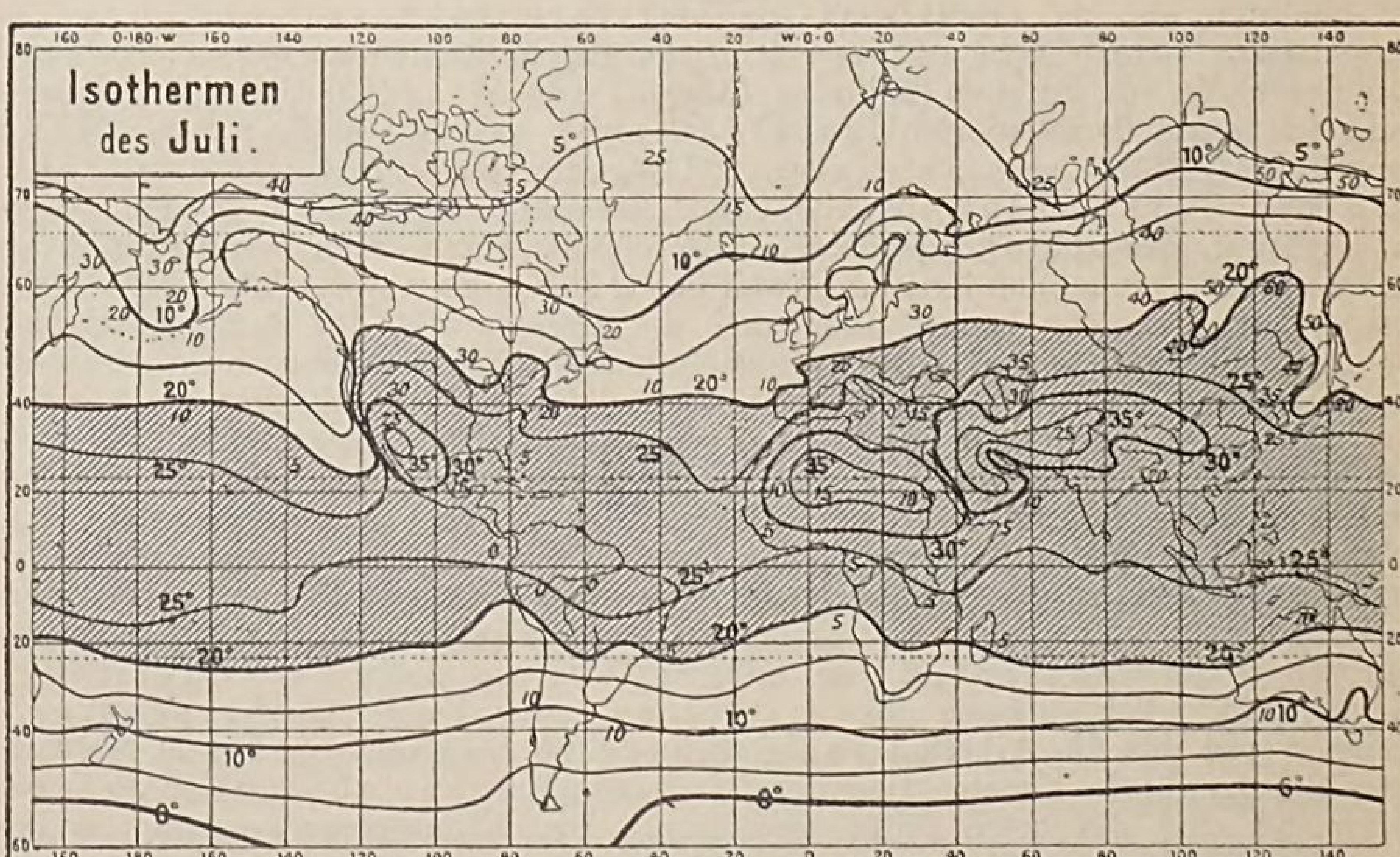
Fig. 61 a.



über 20° Cels. unter –20° Cels.

bestimmten Zeitraumes zukommt, durch Isothermen (I, S. 333) untereinander zu verbinden. Man kann Jahresisothermen, Monatsisothermen u. s. w.

Fig. 61 b.

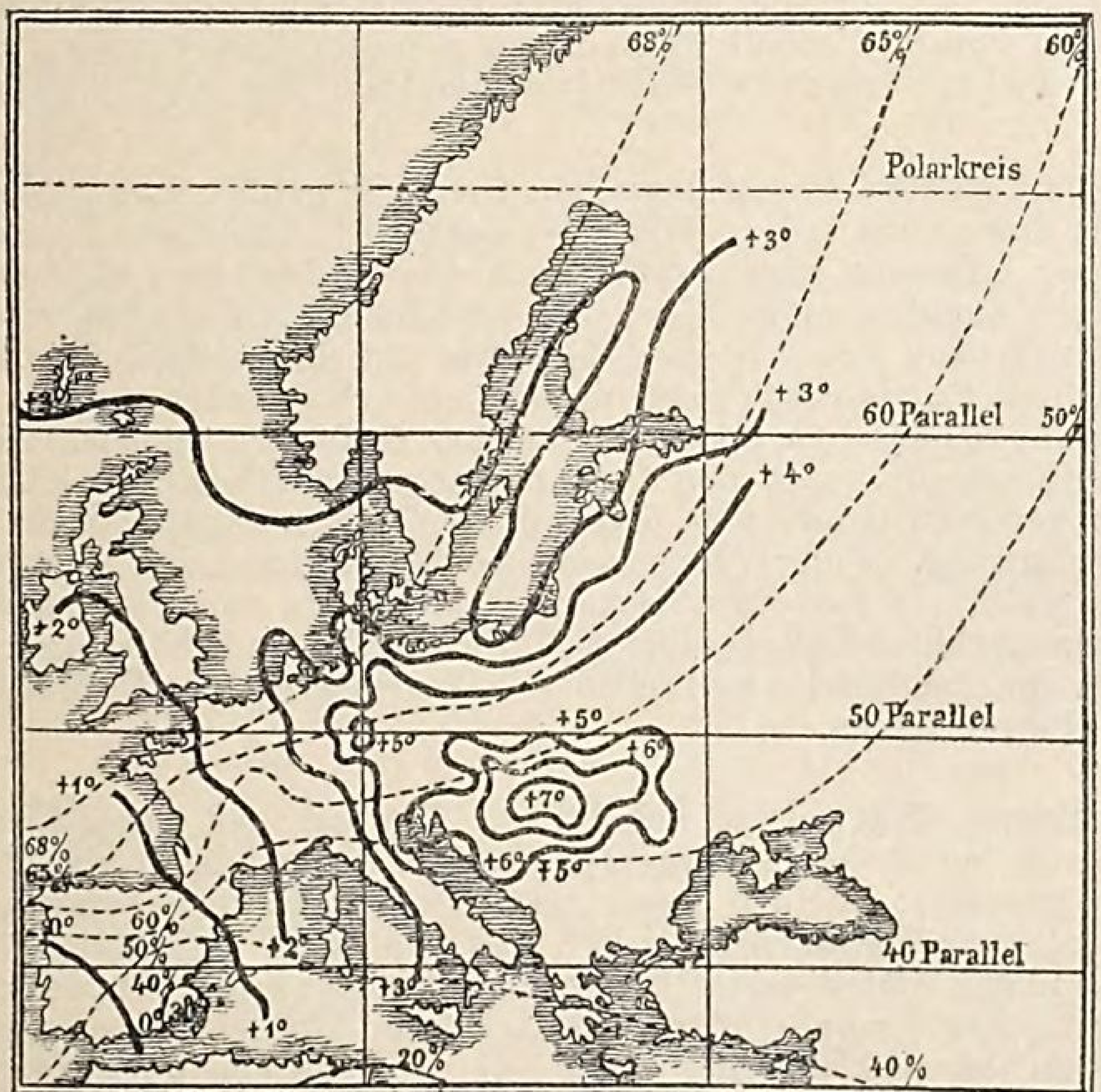


über 20° Cels. – Die kleinen Zahlen geben den Temp.-Unterschied des Januar und Juli in °C. an.

kartographisch fixieren; die bemerkenswertesten Kurven dieser Art sind jedoch die, welche die mittlere Temperatur des Januar und des Juli zur Anschauung bringen und deshalb Isochimenen (χειμών, Winter) und Isotheren (θέρος, Sommer) heissen mögen; Humboldt allerdings gebraucht beide Worte in etwas allgemei-

nerem Sinne. Da es hier nicht auf scharfe Hervorhebung von Einzelheiten ankommt, so geben wir umstehend das bei kleinem Massstabe sehr übersichtliche Tableau van Bebbers [32] wieder (Fig. 61). Auf die Lehren, welche solche Karten erteilen, gehen wir zunächst nicht ein, sondern erwähnen nur, dass, wenn man die jahreszeitlichen Ortsverlegungen der Isothermen in den einzelnen Jahreszeiten verfolgt, so wie dies Hildebrandsson [33] und Högbom [34] thaten, dadurch ein Einblick in den Klimacharakter mancher Orte erreicht wird, der auf andere Weise nicht zu erreichen wäre. Eine noch andere Art thermischer Kurven entsteht, wenn man die geometrischen Oerter aller Punkte konstruiert, für welche gewisse Temperaturgrade gleichlang anhalten. Diesen Gedanken hat Supan [35] angeregt und Tümmler [36] speziell für Deutschland durchgearbeitet. Wenn endlich für eine Erdstelle eine Durchschnittstemperatur T bekannt ist, so kann man, falls zu irgend einer Zeit ebendort eine Temperatur t vermerkt wurde, die Differenz $\tau = \pm (T - t)$ als thermische Anomalie bezeichnen und in Kurvenzeichnung veranschaulichen. Orte, welche im nämlichen Zeitpunkte ein gleiches τ wahrnehmen lassen, liegen, Doves De-

Fig. 62.



Jsanomalen der Temperatur — Jsonephen.

finition zufolge [37], auf einer Isanomalen oder Isametralen (ἴσος, gleich; α privativum; μέτρον, Mass) der Temperatur. Isametralenkarten hat Spitaler [38] für das Gesamtjahr, wie auch für Januar und Juli veröffentlicht; zumal in dem letzteren Falle tritt der Fortschritt unserer klimatologischen Kenntnis gegenüber der in Doves Werke zum Ausdruck kommenden Epoche klar zu Tage. Da die genaue Verzeichnung dieser Linien schwierig ist, so kann man gerne von einem Erfahrungssatze Wilds [39] Gebrauch machen, der also lautet: „Es kann mit grosser Sicherheit die empirische Regel aufgestellt werden, dass die Isobaren in ihren Hauptzügen mit den Temperaturisanomalen übereinstimmen und sich auch annähernd mit ihnen decken, wenn man sie in südöstlicher Richtung mehr oder weniger verschoben denkt.“ Mit Hilfe dieses Satzes vermochte v. Bezold [40] eine altbekannte Thatsache, dass nämlich in der dritten Maipentade — gewöhnlich an den Tagen der „gestrengen Herren“, „Eismänner“ oder „Weinverderber“ St. Mamertus, St. Servatius, St. Pankratius (11., 12., 13. Mai) — heftiger Kälterückfall in Westeuropa auftritt, auf die herrschende Wärmeverteilung zurückzuführen, ohne an die Mitwirkung von Meteorschwärmen appellieren zu müssen. Schon Dove [41]

hatte für diese Temperaturdepression, welche in etwas bescheidenerem Ausmasse auch im Juni wieder einzutreten pflegt, terrestrische Gründe aufgesucht und diese in der Bindung namhafter Wärmemengen, welche zum Schmelzen der atlantischen Eisberge verwendet würden, zu finden geglaubt, weshalb er die Eismänner „geborene Amerikaner“ nannte. Einer richtigeren Auffassung brachen Assmann [42], Billwiller [43] und van Bebber [44] die Bahn, und indem dann v. Bezold, die Isametralen Europas nach der Wildschen Regel in die Karte eintragend, eine gewaltige thermische Anomalie für Südosteuropa in der ersten Maihälfte konstatierte, erkannte er, dass nach dem barischen Gesetze (S. 190) um diese Zeit der Westen unter der Herrschaft kalter, nördlicher Winde stehen müsse. Die gestrengen Herren sind demzufolge „geborene Ungarn“, wie dies ein Blick auf die Kurven der Donauebene in unserer Fig. 62 darthut. Es wirkt nach v. Bezold [45] die Balkanhalbinsel wie ein kleiner vorgeschobener Kontinent, so dass sich über dem angrenzenden ungarischen Tieflande eine ungewöhnlich starke thermische Anomalie mit niedrigem Barometerstande entwickelt. Allerdings bleibt, daran erinnert auch Köppen [46], einstweilen noch unerklärt, weshalb diese Periodizität einen so regelmässigen Charakter behaupte. Billwiller (s. o.) ist allerdings geneigt, diese Regelmässigkeit in der Wiederkehr der Maifröste einigermassen in Zweifel zu ziehen. — Für die einheitliche Verzeichnung der thermischen Isanomalen über den ganzen Erdball weg sind in neuester Zeit namentlich die Publikationen von Teisserenc de Bort [47] und von Batchelder [48] namhaft zu machen.

Zu einem exakten klimatologischen Gemälde gehört ferner auch Kenntnis der Intensität der nächtlichen Wärmeausstrahlung, deren Uebermass (S. 25) zur Reifbildung beitragen kann, sowie auch der Bodentemperatur (I, S. 329); zu den dortigen Angaben möge hier noch ein Hinweis auf die sehr zweckmässigen Bodenthermometer von Wollny [49], sowie auf die analytischen Arbeiten von Frölich [50] und Saalschütz [51] hinzutreten. Schliesslich kommt auch noch das Temperaturgefühl in Betracht, welches ja freilich zunächst ein sehr subjektives zu sein scheint, nach den Untersuchungen von Vincent [52] aber doch bis zu einem gewissen Grade von den zahlenmässig auszudrückenden Elementen sich abhängig erweist. Jeder Tropenreisende weiss, dass eine Herabsetzung der Temperatur, welche in der europäischen Heimat kaum von ihm beachtet worden wäre, sehr unangenehme Kältegefühle und auch wirkliche Erkältungserscheinungen hervorzurufen im stande ist, weil eben die Verhältnisse der Umwelt eine totale Aenderung erfahren haben.

b) **Strahlende Wärme und Belichtung.** Nur kurz sei dieses Elementes hier gedacht, weil in den nächsten Paragraphen demselben ohnehin eine eingehendere Betrachtung gewidmet werden muss. Die Sonnenstrahlen bringen nicht nur Wärme mit sich, sondern auch ihr Licht ist von hoher Bedeutung für die organische Welt, indem unter seiner Einwirkung chemische Umsetzungen im Inneren organischer, vorab pflanzlicher, Körper ausgelöst werden [53]. Seit Senebier, an dessen klassisches Werk [54] sich eine ebenfalls sehr inhaltreiche Schrift [55] des jüngeren Saussure anschloss, steht diese Frage auf der wissenschaftlichen Tagesordnung, indem zumal das Etiolieren der Pflanzen bei Lichtabschluss auffallen musste; dasselbe äussert sich in der Weise, dass die Pflanze gestaltlich degeneriert, während zugleich der grüne Farbstoff, das Chlorophyll, durch das gelbliche Etiolin ersetzt wird. Nicht die sogenannten ultravioletten oder chemischen Strahlen des Sonnenspektrums (I, S. 67) bethätigen sich jedoch, wie Famintzin [56] zeigte, als die pflanzenphysiologisch wirksamsten, sondern die Lichtintensität, welche bei den langwelligen Farben unter sonst gleichen Umständen grösser als bei den kurzwelligen ist, muss nach Prillieux [57] als das ausschlaggebende Moment angesehen werden. Daneben ist aber durch die Untersuchungen von Dehérain [58] und Griffiths [59] festgestellt worden, dass denjenigen Spektralstrahlen der kräftigste chemische Effekt zuzuschreiben ist, welche die Transpiration und Kohlensäureassimilation der Blätter besonders lebhaft anregen und die Aufnahme von Mineralbestandteilen des Bodens durch die Wurzeln befördern. Dies sind aber die Strahlen des gelben Spektrumteiles, innerhalb dessen auch das Maximum der Strahlungsenergie zu suchen ist. Die genauesten photometrischen Messungen, welche die Beeinflussung des vegetativen Lebens durch die Klimabeschaffenheit unzweifelhaft nachweisen, verdankt man Wiesner [60]. — Die Messung der Stärke der strahlenden

Wärme erfolgt am besten durch Vergleichung (S. 51) eines Blankkugel- und eines Schwarzkugelthermometers, wie dies zuerst von Leslie [61] vorgeschlagen worden zu sein scheint. Man weiss, dass durch Wärmestrahlung in dünner und trockener Luft selbst bei niedrigem Barometerstande ein oft peinliches Wärmegefühl erzeugt werden kann [62]; der Nordpolfahrer Hayes bezeichnet [63] das Ausbrechen des Schweisses, welcher bei Vornahme anstrengender körperlicher Arbeit unter den doch nur ganz schräg einfallenden Strahlen der Zirkumpolarsonne sich ausgiebigst einstellt, als besonders lästig. Auch die Beobachtungen von Frankland [64] über die Besonnung in Hochthälern verdienen Beachtung; speziell für die nach dieser Seite hin typischen Verhältnisse in dem durch geschützte Lage ausgezeichneten Höhenkurorte Davos macht Waters [65] einschlägige Angaben. Die gespiegelte Wärme, mögen nun Wasserflächen oder Wände die Reflexion verursacht haben, ist nicht minder von Einfluss; messende Beobachtungen hierüber hat man von Ch. Dufour [66] und Frankland [67]. Am Genfersee fand der Erstgenannte, dass bei Sonnenhöhen von (ungefähr) 4°, 7° und 16° die Intensität der reflektierten Wärme 68, 40—50 und 20—30 % der direkt emittierten war. Die grössere und drückendere Hitze, welche sich in den Strassen der Städte gegenüber dem freien Lande so häufig fühlbar macht, ist grossenteils der diffusen Wärmezurückstrahlung auf Rechnung zu setzen.

c) **Atmosphärische Feuchtigkeit.** Die sogenannte absolute Feuchtigkeit, den Druck des in der Atmosphäre verteilten Wasserdampfes darstellend, kommt als klimatischer Faktor nicht besonders in Betracht; wohl aber ist die relative Feuchtigkeit ein solcher [68]. Wenn wir im gewöhnlichen Sprachgebrauche die uns umgebende Luft mit schwül bezeichnen, so wollen wir damit andeuten, die Sättigung derselben mit Feuchtigkeit sei eine weit fortgeschrittene. Ausser dem Tagesmittel des Tages sollte man auch die Mittelwerte des Morgens, Mittags und Abends kennen. Endlich haben (vgl. S. 23) die Klimatologen auch das Sättigungsdefizit als wichtig für die Beurteilung der Art und Weise erkannt, wie das Klima auf den Menschen einwirkt, aber aus den von Hann [69] angeführten und diskutierten Beispielen dürfte doch hervorgehen, dass dieses Element nicht mit dem der relativen Feuchtigkeit an Bedeutung sich messen kann. G. Schotts Erfahrungen [70], im Indischen Ozean gewonnen, bekräftigen vollkommen das Urteil Hanns.

d) **Niederschlagsverhältnisse.** Wärme und Niederschlag kennzeichnen das Klima einer Gegend namentlich in Bezug auf deren agronomischen Charakter. Es ist z. B. bekannt, dass die Theekultur am wenigsten starke Frühjahrsregen, die Vanillekultur weder besonders trockene noch auch besonders nasse Jahre vertragen kann. Durch seine graphischen Darstellungen arktoider und tropoider Produkte hat W. Krebs [71] einen Ansatz dazu gemacht, die auf die Weltwirtschaft Einfluss nehmenden Momente gesondert und vereinigt zu studieren; wiegen z. B. Insolation und Regenmenge allzusehr vor, so wird der pflanzliche Teil der Gesamtproduktion stark begünstigt, während der tierische zurücktritt [72]. Auf der Antilleninsel Barbadoes steht die Quantität der Zuckerausfuhr in nahezu mathematisch genauer Beziehung zur Niederschlagshöhe [73].

Die klimatologischen Kategorien sind gegeben durch folgende Angaben: 1. Monats- und Jahressummen der gesamten Niederschläge (S. 70); 2. Zahl der Tage, welche als Regentage zu notieren sind, d. h. wenigstens die Minimalhöhe von 0,1 mm geliefert haben; 3. Niederschlagsdauer, die freilich auch nach den Vorschriften Köppens [74] nur schwierig zu ermitteln ist, von Woeikow [75] aber für unerlässlich gehalten wird; 4) Mittlere Häufigkeit der Tage mit Niederschlag von einer bestimmten Grösse; 5. Regenwahrscheinlichkeit und Regendichte; 6. Tage mit Schneefall; 7. Dauer der Schneedecke und — womöglich auch — der Eisrinde über dem Wasser; 8. Tage mit Hagel und Gewitter. Die Regenwahrscheinlichkeit für einen gegebenen Zeitraum A wird dadurch erhalten [76], dass man die mittlere Zahl der auf A treffenden Niederschlagstage durch die Gesamtzahl der in A enthaltenen Tage dividiert; bleibt der Divisor erhalten, während an die Stelle des Dividenden die in der Zeit A gemessene Regenmenge tritt, so hat man die Regendichte. Für Göttingen, wo Listing lange Jahre mustergültige Beobachtungen angestellt hatte, konnte H. Meyer die charakteristischen Zahlwerte mit verhältnismässig grosser Genauigkeit berechnen [77]. Die Landwirtschaft nimmt nach Wollny [78] Interesse an den Regenmengen erst dann, wenn dieselben eine gewisse Grösse erreicht haben.

e) **Bewölkung**. Die Bewölkungsgrösse (S. 29) und die durch Instrumente genau zu fixierende Sonnenscheindauer (S. 76) spielen in der Klimatologie eine nicht unwesentliche Rolle. Gut ist es auch, die Bedeutung des Taufalles (S. 24) und die durchschnittliche Anzahl der Nebeltage zu kennen.

f) **Verdunstung**. Wie man dieses Element zu bestimmen vermag, wurde früher gezeigt (S. 68); Weilenmann [79] gab ein Verfahren an, den Verdunstungsbetrag aus den gegebenen klimatischen Faktoren angenähert zu berechnen. Den Begriff Evaporationskraft eines Klimas hat Ule [80] zu definieren versucht. Da derselbe die Verdunstung der Windstärke proportional setzt, während im übrigen auch Luftwärme, Luftdruck und relative Feuchtigkeit mitbestimmende Grössen sind, so leuchtet ein, dass für die Gestaltung des Klimas auch massgebend sein werden die

g) **Windverhältnisse**. Man muss wissen, aus welchen Quartieren der Wind an dem betreffenden Orte gewöhnlich kommt, und in welcher Weise er auf das Wetter seinen Einfluss ausübt. Man wird mithin für jedes klimatische Element, zumal auch für die Windstärke, die Windrose (S. 79) konstruieren und an diese die weiteren Schlüsse anknüpfen [81]. Zumeist wird man sich auf die acht sogenannten Hauptwinde beschränken dürfen. Auch Kenntnis der Art der Entstehung des Windes ist wünschenswert.

h) **Luftdruck**. Nur indirekt, weil eben von seiner Verteilung das Wehen der Winde sich abhängig zeigt, kommt der Luftdruck als Klimafaktor in Betracht [82]. Luftdruckschwankungen sind für den menschlichen Organismus so gut wie belanglos; das bezeugen am deutlichsten die zur Regulierung der Herz- und Respirationsthätigkeit eingerichteten pneumatischen Kammern [83], innerhalb deren der Patient im Laufe eines Tages Luftdruckveränderungen bis zu 300 mm sehr bald anstandslos ertragen lernt.

i) **Luftbeschaffenheit**. Im allgemeinen kommt der Ungleichartigkeit der Luftzusammensetzung, wie wir dieselbe früher kennen lernten (Kap. I, §. 8 und 9) keine besondere Tragweite zu. Insoweit sich gesundheitsschädliche Stoffe einschleichen, hat von der Beschaffenheit der Atmosphäre die hygienische Meteorologie (s. u. in Kap. XI) Akt zu nehmen. Das Vorhandensein von Ozon (S. 15) ist gewiss ein Zeichen dafür, dass die Luft relativ rein von schädlichen Beimengungen ist, aber man hat den Wert dieser Modifikation des normalen Sauerstoffes auch oft überschätzt. Näheres darüber wird ebenfalls am genannten Orte beizubringen sein.

§. 4. **Schnee und Eis in ihrer klimatologischen Bedeutung**. Das Studium der Schnee- und Eisverhältnisse wird für die Klimatologie in doppeltem Sinne zur unabweisbaren Notwendigkeit. Erstens nämlich wird das Klima eines Landstriches, welcher von Schnee und Eis in grösserem Mafse heimgesucht ist, durch diese Zugaben, falls sie lange genug liegen bleiben, in genau zu bestimmender Weise abgeändert, und zum zweiten gewährt umgekehrt die Beobachtung der Termine, welche den Schneefall und die Eisbedeckung regulieren, wertvolle Anhaltspunkte zur Beurteilung des Klimas selber. Es wird sich also verlohnen, diese beiden Fragen in ihrem Zusammenhange zu erörtern, für welchen Zweck eine Monographie von Woeikow [84] gewichtige Dienste leistet. Die Physik lehrt, dass durch den Prozess des Gefrierens Wärme anscheinend frei, durch den des Wiederauftauens aber Wärme gebunden, dem Gefühle nach also Kälte erzeugt wird. Ein gewisses Mass von Sonnenwärme, welches sonst zur Erhöhung der Lufttemperatur gedient hätte, muss thatsächlich molekulare Arbeit leisten und die Massen gefrorenen Wassers in tropfbare Flüssigkeit zurückverwandeln.

Woeikow fasst die älteren Arbeiten von Billwiller, Assmann, Hann mit seinen eigenen zusammen. Die Schneedecke, so konstatiert er, hält jähe Kälte

vom Boden ab und wirkt auch ermässigend auf Temperaturschwankungen ein. Gegenüber dem Untergrunde bethätigt sich Schnee als schlechter Wärmeleiter. Durch Leitung kühlt sich auch die der Erde nächst anliegende Luftschicht ab, und dadurch entsteht dann eine Temperaturumkehr (S. 180) in der vertikalen Wärmeverteilung, welche sich hauptsächlich unter der Herrschaft einer Antizyklone bemerklich macht. Im Jahre 1877 hatte das östliche Russland schwachen, das innere reichlichen Schneefall, und demzufolge kühlte sich letzteres, obwohl von Hause aus wärmer, weit stärker als ersteres ab. Nur kräftige Luftströmungen vermögen den erkältenden Einfluss einer grösseren Schneedecke einigermassen zu paralysieren. Schnee ist wenig diatherman (S. 12), reflektiert vielmehr den grössten Teil der auffallenden Wärmestrahlen, wogegen die darüber ruhende, an Fremdkörpern (S. 18) zumeist arme Luft sehr durchlässig für Wärme zu sein pflegt. Sowie der Akt des Gefrierens eingeleitet und dann wieder unterbrochen worden ist, so dass das normale Gefüge der Schneedecke eine Aenderung erlitten hat, wenn ferner die Oberfläche härter, derjenigen des Eises ähnlicher geworden ist, nimmt die Diathermansie des Schnees zu. Dass schneereichen Wintern mit Vorliebe ein kühler Frühling folgt [85], ist jetzt ganz selbstverständlich. Wenn ein Boden trocken und locker ist, sowie dies in Zentralasien mehrfach der Fall ist, so besitzt er einige Eigenschaften der Schneefläche und begünstigt die Herausbildung lokaler Kältezentren. Damit aber jene Eigenschaften sich voll entfalten können, bedarf es gleichmässiger Lagerung des Schnees, so dass bei der Messung mit dem Schneepegel (S. 70) dieses allerorts gleich tief einsinkt. Solche Lagerung ist den Wäldern eigentümlich, und deshalb gefriert Waldboden nicht leicht so tief, wie Steppenboden; es kann vielmehr ein beträchtlicher Teil des Schmelzwassers im Boden versickern, und damit hängt wieder zusammen, dass in der Nähe ausgedehnter Baumbestände Hochwasser minder rapid auftreten [86]. An und für sich freilich ist der Hochgebirgsschnee der Wasserbringer für die Bäche und Flüsse, wie denn ohne die Schneehäupter des Pamirhochlandes von stattlichen Zuflüssen des Aral-Sees keine Rede sein könnte. Luftfeuchtigkeit wird durch Schnee vermehrt, Windintensität abgeschwächt. Unter gewöhnlichen Umständen begünstigt Schnee das Wachstum der Bewölkung, aber indirekt wirkt er ihm entgegen, denn er leistet der Bildung antizyklonaler Bewegungen (S. 193) in der Luft Vorschub, und unter deren Herrschaft ist die Entstehung einer stärkeren Wolkendecke erschwert. Wenn bereits ein lokaler Schneemantel namhafte Wärmemengen sozusagen absorbiert, so ist leicht zu denken [87], dass die grossartigen Eispanzer der Polarwelt (Grönland, Antarktis) noch viel ausgiebigere Wärmedefekte zuwege bringen müssen. Hierüber wären auch Billwillers [88] Angaben zu vergleichen.

Man kann sowohl für Schnee wie für Eis eine durchsichtige, graphische Darstellung der zeitlichen Lagerungsverhältnisse dadurch schaffen, dass man alle diejenigen Orte durch einen Kurvenzug untereinander in Verbindung bringt, für welche Schnee- oder Eisdecke gleich lang anhalten. Wir möchten vorschlagen, solche Kurven bezüglich Aequinivalen oder Aequiglazialen zu nennen (nix, Schnee; glacies, Eis). Unter den Aequiglazialen liessen sich, wie Rykatschews [89] eingehende Analyse noch wünschenswerter machte, wieder drei besondere Modalitäten unterscheiden. Der geometrische Ort der Punkte synchroner Bildung der Eisdecke ist eine Homopektike (πηκτός, erstarrt); der geometrische Ort der Punkte synchronen Eisaufganges ist eine Homotake (ἐτάκην, ich taue auf); endlich der geometrische Ort der Punkte gleicher Zeitdauer der Uebereisung ist eine Homopage (πάγος, das Erstarrte, Eis). Naturgemäss weist der Verlauf dieser drei Arten von Kurven manches Gemeinsame auf, doch sind auch Unterschiede nachweis- und erklärbar.

Für die skandinavische Halbinsel sind die Aequiglazialen von Hildebrandsson [90] untersucht worden, und allein schon dem Bilde entnimmt der Kundige manchen Aufschluss. Man sieht z. B., dass diese Linien an der norwegischen Küste sehr weit nach Norden hinaufreichen, an der schwedischen weniger weit,

während in der gebirgigen Achse der Halbinsel jede solche Kurve tief nach Süden vorspringt, und daraus folgert man: Die Westküste ist durchweg wärmer als die Ostküste, und diese wieder hat ein günstigeres Klima, als es dem Hochplateau eigen ist. — Die Ueber- und Enteisungsverhältnisse der Flüsse untersuchte zuerst Hällström [91] mit den Mitteln der Wahrscheinlichkeitsrechnung. Für 78 schwedische und finnische Wasserbecken führte Hildebrandsson [92] die analoge Untersuchung durch, indem er die drei oben angegebenen Spezialfälle, jeden für sich, betrachtete. Rykatschews Aequiglazialenkarte von Europäisch- und Asiatisch-Russland kann aber gewiss als die umfassendste Leistung auf diesem Gebiete gelten; sie stützt sich auf zehnjährige Beobachtungen. Im Südwesten Russlands findet sich keinerlei Eisbildung. Die erste Homotake, von Süden her, gewahrt man bei Jekaterinodar, dem Hauptorte der Kosaken des Schwarzen Meeres, wo der Kuban um den 15. Februar herum aufgeht. Die Homotaken, welche die belehrendsten Kurven sind, ziehen sich nicht etwa parallel den Breitenkreisen hin, sondern sie erheben sich über dieselben im Westen, um im Osten desto mehr südlich abzufallen. Sehr übereinstimmend verhalten sie sich gegen jene Kurven, an deren sämtlichen Punkten gleichzeitig die Temperatur von 0° erhalten wird. Auch die März-Isothermen (S. 250) von — 10° und — 12°, wie andererseits Wilds entsprechende Isanomalen (S. 250), haben einen ähnlichen Verlauf. Die Aufeinanderfolge des Zugefrierens vollzieht sich in umgekehrter Reihenfolge von derjenigen des Freiwerdens. Die europäischen Gewässer bedecken sich viel später als die asiatischen mit Eis, wie denn die Kolyma (I, S. 333) schon am 1. September von Lastpferdzügen überschritten werden kann. Ungemein scharf präzisiert sich die südliche Ausbuchtung der Homopektiken am Irtysch und Om [93]; die Frühjahrsfröste, welche hier gewöhnlich sind und sich auch in den Monatsisothermen der Kirgisensteppe offenbaren, halten hier die Wasserläufe verhältnismässig lange in ihren Eisfesseln fest.

Die Temperaturherabsetzung, welche der Enteisung unmittelbar folgt, kann gross genug werden, um die Entwickelung des Pflanzenlebens zu hemmen. Der nächste Paragraph wird uns hierüber nähere Aufklärung bringen.

§. 5. **Phänologie der Pflanzen und Tiere.** Je nach der Eigenart des Klimas müssen diejenigen Aeusserungen des organischen Lebens, welche irgendwie von den Jahreszeiten abhängig sind, Verfrühungen oder Verspätungen wahrnehmen lassen, und umgekehrt gewährt mithin die Verfolgung dieser zeitlichen Verschiebungen einen Masstab zur Beurteilung der Klimate. Es ist im Laufe der Zeiten ein selbständiger Wissenszweig, ein Bindeglied der Biologie und Meteorologie, entstanden, welcher sich die Erforschung des angedeuteten Zusammenhanges zum Ziele gesetzt hat; nach dem Vorgange von Morren [94] gebraucht man dafür den Namen Phänologie (φαίνειν, erscheinen), der sich allgemein eingebürgert hat. Wesen und Ziel der neuen Disziplin ist, mit steter Berücksichtigung des geschichtlichen Entwickelungsganges, dessen frühere Phasen Ihne [95] mustergiltig geschildert hat, in einer selbständigen Schrift [96] zusammenfassend darzustellen versucht worden.

Indem wir uns zunächst bloss an die Phytophänologie (φυτόν, Gewächs) halten, bemerken wir, dass von dem Wesen und Inhalte derselben bereits Linné eine klare Vorstellung besass, als er die Worte niederschrieb [97]: „Tempus vigendi, germinandi, frondescendi, efflorescendi, fructescendi, defoliandi indicat clima"; um aus den erwähnten Terminen klimatische Rückschlüsse und umgekehrt ziehen zu können, verlangte er [98], es seien „Mappae vegetantes, quae indicant ubique regionem, clima et terram" herzustellen. Als er sich so äusserte, hatte man bereits da und dort mit analogen Beobachtungen begonnen; in den nächsten Jahren und Jahrzehnten traten Florenkalender, wie man sich damals ausdrückte, mehrfach an das Licht [99], so von Barck, A. Berger und Bjerkander in Schweden, von Stillingfleet in England, von Scopoli in Krain, von Senebier und Bonnet in Genf, von Hänke und Jirasek in Böhmen u. a. Der Begründer der deutschen Phä-

nologie war nach Ihne der Danziger Naturforscher Reyger [100] (I, S. 23). Wenn sich derselbe auch seiner Abhängigkeit von Linné klar bewusst war, so ging er doch in der Erkenntnis, dass die Blütezeit für einen bestimmten Ort auch ein Mittel zur Pflanzenbestimmung abgebe, über sein Vorbild hinaus [101]. Der Versuch, zwischen Blüte- und Reifezeit auf der einen, der Luftwärme auf der anderen Seite eine Kausalbeziehung auszumitteln, wurde bald darauf von dem deutschen Physiker Rosenthal [102] nicht ganz ohne Erfolg angestellt; derselbe ist der Vorläufer der modernen rechnenden Phänologie. Unter dem speziell klimatologischen Gesichtspunkte scheint sich für die Sache zuerst der französische Meteorologe Cotte (S. 4) interessiert zu haben [103]. Vor allem jedoch blieb nach wie vor Skandinavien das Land, in welchem diese Forschung am eifrigsten betrieben ward, und hier wieder leistete, wie Mobergs Darlegung [104] zeigt, von Anfang an bis zur Gegenwart Finnland das meiste. Durch eine einfache, leicht verständliche Instruktion zur Anstellung phänologischer Beobachtungen erwies Quetelet [105] dem immer noch nicht über die Sammlung von Material hinausgekommenen Wissenszweige einen grossen Dienst, wobei er, um Komplikationen hintanzuhalten, nur auf die Festhaltung von vier Hauptphasen drang. Es waren dies die folgenden: Blattbildung, Auftreten der ersten Blüte, Auftreten der ersten Frucht, allgemeiner Laubabfall. Während ersichtlich alle die hier erwähnten Phänomene nur auf die Jahresperiode der Insolation Bezug nehmen, glaubte Fritsch, dessen Arbeiten [106] dem phänologischen Beobachtungsdienste in Oesterreich einen nachhaltigen Anstoss verliehen, auch der Tagesperiode, hauptsächlich zum Ausdrucke gebracht durch den Pflanzenschlaf, erhöhte Bedeutung beimessen zu sollen, und auch die Möglichkeit einer Bestimmung der mit gewissen Periodenabläufen korrespondierenden Wärmemengen wird von Fritsch schon gestreift [107]. Ueber die Umstände, unter welchen allmählich in den allermeisten Kulturländern die regelmässige Anstellung phänologischer Beobachtungen erreicht wurde, braucht hier um so weniger eingehende Mitteilung gemacht zu werden, als die vorerwähnte Schrift von Ihne sich darüber ausführlichst verbreitet. Das Queteletsche Schema (s. o.) erwies sich für die neueste Zeit nicht mehr als völlig ausreichend; an seine Stelle traten die verbesserten Anweisungen von Staub [108], Drude [109] und Hoffmann-Ihne [110]; diese letztere, die sogenannte Giessener Instruktion, ist wohl die weitest verbreitete und hat eine Uebersetzung in vier fremde Sprachen gefunden. In der hiedurch bestimmten Richtung ist nun, namentlich in Deutschland, mit grossem Erfolge gearbeitet worden, und man ist einem an sich doch ziemlich einfachen Verfahren deshalb treu geblieben, weil man sich, wenn man sich an die scharfe Analyse der einzelnen Vorgänge, z. B. der Knospenbildung, anlehnen wollte, welche O. Sendtner gab [111], allzusehr ins Detail verlieren würde und kaum je zu zusammenfassenden Schlüssen gelangen könnte. Vielleicht die sorgfältigste Bearbeitung einer bestimmten Oertlichkeit, welche wir haben, ist Frankfurt a. M. durch die Bestrebungen Zieglers [112] zu teil geworden, der vom Jahre 1826 ab Notizen für seinen Zweck zusammenzubringen und dieselben kritisch zu sichten verstand.

Wenn wir die beiden Arbeitsrichtungen, welche sich in der Pflanzenphänologie schon seit vielen Jahren bemerklich machten, mit wenigen Worten übersichtlich kennzeichnen wollen, so können wir sagen, dass neben einer kalkulatorischen insbesondere auch eine geographische Methode hervortritt. Dies soll nicht etwa so verstanden werden, als schlösse das eine Verfahren das andere aus, stehe zu ihm in einem inneren Gegensatze; vielmehr finden wir, dass derselbe Autor, je nach der Art seiner Untersuchung, bald mehr die eine, bald mehr die andere Art bevorzugt. Wollen wir in möglichster Kürze das Verhältnis beider Methoden zu einander schildern, so können wir uns etwa der nachstehenden Wortfassung bedienen: Man kann darauf ausgehen, die Epoche des Eintretens eines gewissen Ereignisses im Pflanzenleben als in einer direkten Abhängigkeit von der Temperaturverteilung bis zu jenem Zeitpunkte stehend nachzuweisen; man kann andererseits, auf Rechnung

vorerst Verzicht leistend, auf die phänologischen Daten das Prinzip der Humboldtschen Kurvendarstellung (S. 250) anwenden und das so entstehende graphische Bild klimatologisch zu deuten suchen.

Wohl machten sich in den vierziger Jahren vorübergehend Bestrebungen geltend, die phänologischen Epochen durch Formeln auszudrücken, allein diesen Ausschreitungen der angewandten Mathematik kann man, wie schon Fritsch [113] zutreffend betonte, keinen besonderen Wert beilegen. Es mag zweifelhaft erscheinen, ob selbst nach eifrigster phänologischer Arbeit von Jahrhunderten die organische Natur sich die Einpressung in eine solche Zwangsjacke gefallen lassen wird. Aber doch war gewiss Dove in seinem guten Rechte, als er [114] der innigen Wechselbeziehungen zwischen Pflanzenwachstum und Temperatur gedachte. Den Gedanken haben, indem sie auch noch auf die konkurrierenden klimatischen Faktoren entsprechend Bedacht nahmen, Schwendener [115] und Hult [116] weiter ausgeführt; ersterer legte namentlich Gewicht darauf, dass für die gesamte Vegetation ein gewisses, selbstredend aber nicht konstantes Minimum der winterlichen Ruhe unerlässliche Bedingung der weiteren Entwicklung sei. Vor allem wollen neben der Erwärmung, welche ja am Ende auch auf künstlichem Wege zugeführt werden könnte, auch Feuchtigkeit und Belichtung in Rechnung gezogen sein; für letztere liegen auch achtbare Spezialforschungen von Schübeler [117] und Krašan [118] vor. Jene Art und Weise nun, die Wärmeeinwirkungen arithmetisch zu berücksichtigen, welche wir jetzt auseinandersetzen wollen, hat entschiedene Gegner gefunden, so in Sachs [119] und Köppen [120]; in der That geben wir auch unbedingt zu, dass man sich zeitweise viel zu viel von einem Berechnungsmodus versprochen hat, der niemals eine wirkliche Einsicht in das Walten der Natur vermitteln kann; bescheidet man sich aber damit, in dem Rechnungsverfahren lediglich einen Durchgangspunkt der phänologischen Forschung zu erblicken [121], der notwendig überwunden werden muss, um die allzu schematischen Vorstellungen einer früheren Zeit abzustreifen, so wird man ersterem sein historisches und — bis zu einem gewissen Grade — auch thatsächliches Recht nicht streitig machen können.

Ob wirklich, wie Martins angibt [122], Réaumur als der Begründer der nunmehr zu besprechenden Lehre von den Temperatursummen zu gelten habe, das müssen wir mangels näherer Belege dahingestellt sein lassen. Im XIX. Jahrhundert ist diese Lehre, jedoch keineswegs in gegenseitigen Uebereinstimmungen im einzelnen — von Boussingault [123] und De Candolle [124] systematisch darzustellen versucht worden. Beide Autoren hielten dafür, dass die Summe der täglichen (Schatten-) Mitteltemperaturen im Zeitraume vom Nullpunkte des Pflanzenlebens bis zum Eintritte einer gewissen Phase für jede Pflanze an bestimmtem Orte sich immer gleich bleibe. Gleicherweise ging auch Tomaschek [125] zu Werke, indem er den Nullpunkt mit dem 1. Januar zusammenfallen liess. Die sehr zahlreichen und über ein immenses Material verfügenden Arbeiten H. Hoffmanns [126] änderten den Grundgedanken im Sinne folgenden Satzes um: Wenn man vom 1. Januar an bis zum Eintritte des Entwickelungsstadiums A sämtliche positive Maximaltemperaturen der einzelnen Tage, die an einem besonnten Thermometer abgelesen waren, zusammenaddiert, so erhält man die der Phase A, der Pflanzenart P und dem Orte entsprechende Vegetationskonstante. Dass letzteres Wort nur bedingt aufzufassen ist, leuchtet schon deshalb ein, weil ja schon die Thermometerskala (S. 50) ihren Einfluss ausübt. Besteht obiger Satz zu Recht, so ist weiter zuzugeben, dass, falls A und P für zwei verschiedene Oertlichkeiten dieselben sind, während die thermische Konstante verschieden gross ausfällt, aus dieser Differenz auf die klimatische Nichtübereinstimmung jener Oertlichkeiten geschlossen werden kann. Der hiemit angedeutete Standpunkt der Phänologie, etwa gegen den Schluss der sechziger Jahre erreicht, galt längere Zeit als der normative, so wie er in den Veröffentlichungen Hoffmanns und in dem geschickt abgefassten Schriftchen [127] von J. Berthold zur Geltung kommt. Die Frage, wann der wahre Nullpunkt des vegetativen Lebens anzusetzen sei, hat auch andere Beantwortungen erfahren. So trat v. Oettingen [128] entschieden dafür ein, für jede Art einen besonderen Anfangspunkt als charakteristische Temperaturschwelle ausfindig zu machen, so dass erst

von dieser ab die Summation zu erfolgen hätte; gelänge es, stets diese Schwelle zu finden, so würde freilich die von da aus gezählte Temperatursumme sich als sehr konstant erweisen [129], aber die *Vergleichbarkeit* der für verschiedene Arten gewonnenen Resultate müsste aufgegeben werden. Beachtung heischt jedenfalls auch *Zieglers* Vorschlag [130], die im *Hoffmann*schen Sinne gerechneten Wärmesummen stets vom Phaseneintritte des Jahres n bis zum analogen Ereignis des Jahres (n + 1) auszudehnen und diese Zahlen dann der Vergleichung zu unterstellen. Endlich darf auch die mit dem Aufgebote grösster Mühe und Sachkenntnis eingeleitete Modifikation unserer Theorie nicht vergessen werden, welche von *Linsser* [131] ausgegangen ist. Indem derselbe nicht einzelne Gewächse, sondern stets zusammengehörige Pflanzengruppen in Betracht zieht, gelangt er zu dem Erfahrungssatze [132], *es seien die an zwei Orten M und N der nämlichen Entwicklungsphase zugehörigen Temperatursummen über Null den Summen aller resp. in M und N gemessenen positiven Temperaturen proportional*. Dass *Linsser* mit Schattentemperaturen operierte, thut der methodischen Bedeutung seiner Angaben keinen Eintrag. — Dass alle diese Aufschlüsse noch keine endgültigen sind, ist unbedingt anzuerkennen; wollte man allzu stolz auf die bisherigen Errungenschaften sein, so würde man schon durch die von *Rahn* [133] studierten Erscheinungen der *Inversion* eines besseren belehrt werden. Es kommt nämlich vor, dass jahrelang die Phase B der Phase A regelrecht nachfolgt, dass aber plötzlich einmal B vor A eintritt, ohne dass man der Ursache dieser Umkehrung sich immer vollkommen Rechenschaft abzulegen vermöchte. Bei alledem lassen wir den Wärmesummen ihre relative Bedeutung, da wir ein vollständig absprechendes Urteil bloss als Reaktion gegen die übertreibende Wertschätzung der rechnenden Methode, wie sie ehemals wohl vorkam, uns denken können. Ganz zutreffend erläutert *Drude* den Sachverhalt. „Es stellt sich immer wieder heraus,“ sagt derselbe [134], „dass die periodischen Erscheinungen der direkte Ausfluss einer inneren Rhythmik sind, welche sich selbst aber, wie jede andere biologische Eigenschaft, mit deren äusseren Bedingungen in einen deren *mittlerem Zustande* entsprechenden Ausgleich gestellt hat. In *diesem Sinne nun* haben alle die angestellten Berechnungen, auf Vergleiche von Minimal- und Maximal-, Schatten- und Sonnentemperaturen gestützt, wieder neuen Reiz und Wert, den man ihnen absprechen muss, wenn sie sich das Ziel setzen, das Pflanzenleben in der hier vorliegenden Beziehung auf einfache Wärmewirkungen zurückzuführen.“ Jenes Ziel müsste schlechthin als ein utopisches anerkannt werden. So jedoch, wie es *Drude* meint, kann man auch arithmetisch manchen Einblick in den inneren Zusammenhang der Dinge sich verschaffen. Wir erinnern da nur an gewisse Thesen von *Staub* [135], deren eine hier wiedergegeben sein möge: Nur dann, wenn das Temperaturmittel der vorhergehenden Monate das mehrjährige Mittel übersteigt, wird durch ein besonders niedriges Temperaturmittel die Entfaltung der Vegetation nicht verhindert. Die Neuzeit brachte auch insofern eine Aenderung in der Methodik der Phänologie, als das *Schwarzkugelthermometer*, welches *Hoffmann* seiner oft exzessiven Wärmegrade halber verworfen hatte, von *Drude* [136] als ein für den fraglichen Zweck sogar besonders geeignetes Instrument befunden worden ist.

Wir wenden uns jetzt der *geographisch-phänologischen* Methode zu, deren Grundlage die Karte ist. Alle Erdorte, *welche sich einer bestimmten Phase gegenüber synchron verhalten*, werden durch einen Kurvenzug untereinander in Verbindung gebracht. Solche *Isanthesen* wollte zuerst *Quetelet* (s. o.) gezogen wissen; nach *Hoffmann* (s. o.) wird man, weil erstere Bezeichnung nur einer einzigen Phasenform (ἄνθη oder ἄνθος, Blüte) Rechnung trägt, besser *Isophane* sagen, doch ist auch dieses Kunstwort kein gut gebildetes und wir ersetzen (vgl. S. 226) es lieber durch *Homophane* (ἴσος, gleichgross; ὁμός, gleichzeitig). *Hoffmanns* Verdienst ist es [137], die erste Homophanenkarte der Oeffentlichkeit übergeben zu haben, allein leider brachte er dem zufälligen Umstande, dass er in seinem Giessen sozusagen den *phänologischen Normalort* erblicken zu dürfen glaubte, ein zu grosses Opfer. Er zog die Linien nämlich so, dass die nämliche Homophane h durch jene Orte A und B ging, für welche, wenn in Giessen eine Phase zur Zeit t, in A zur Zeit t_1, in B zur Zeit t_2 wahrgenommen worden war, $t - t_1 = t - t_2 = \pm h$ sich herausstellte. Es waren also nur *Ortskurven gleicher zeitlicher Verschiebung des Phaseneintrittes* [138]. Echte Homophanen brachte zuerst *Ihne* auf der Karte zur Anschauung; seine Darstellung [139] der *Aufblühzeit von Syringa vulgaris* markiert unter allen

Umständen einen wichtigen Zeitpunkt in der Ausbildung phänologischer Methoden. Es sei gleich hier erwähnt, dass, wenn man bloss Kurvenkarten zulassen wollte, dadurch an die Genauigkeit der Beobachtungen ganz unzulässige Anforderungen gestellt werden würden; besser beschränkt man sich auf Zonenkarten, so dass mithin alle diejenigen Orte, für welche die abgebildete Phasenzeit um eine angegebene Grösse — etwa 7 oder 14 Tage — variiert, innerhalb eines durch Färbung oder Schraffur einheitlich gekennzeichneten, von zwei Homophanen eingeschlossenen Gürtels zu liegen kommen. Tüchtige Karten besitzt man auch von Ziegler [140] und Staub [141] (für Ungarn), doch halten beide, dem Grundsatze Hoffmanns getreu, an einem Normalorte fest, so dass nur relative Zahlen abgelesen werden können. Weit besser ist es, mit Ihne die absolute Bestimmung durchzuführen; eine im Sinne dieses Verfahrens konstruierte Karte gestattet ohne weiteres klimatologische Nutzanwendungen [142]. Wir möchten da besonders auf Ihnes Karte der finnländischen Zonen [143] verweisen. Im wesentlichen verlaufen die Homophanen parallel zu den Breitenkreisen, aber gegen Ende Mai und Anfang Juni wird eine auffällige Senkung der Kurven gegen Südost bemerklich, weil die nunmehr einsetzende Schmelzung des über den nordrussischen Binnenseen lagernden Eises viel Wärme beansprucht (S. 255). — Selbstverständlich gewährt auch die graphische Erntestatistik wertvolle phänologische Einblicke, wie dies von Karsten [144] und Made [145] auf verschiedenen Wegen nachgewiesen worden ist.

Die geographische Methode muss als ihr Endziel offenbar die Aufhellung der folgenden Frage sich stecken: In welchem Mafse erweist sich ein Phasentermin abhängig von den drei geographischen Koordinaten der Breite. Länge und Meereshöhe? Geringere Höhendistanzen und selbst Breitenunterschiede sind, so weit wenigstens nach den Untersuchungen von Völcker [146] geschlossen werden darf, wenig wirksam; die geographische Länge ist dagegen insofern ein gewichtiger Faktor, als durch sie die Entfernung vom nächsten grossen Meere wesentlich bestimmt wird, und wie einschneidend dieses Element allen klimatischen Fragen gegenüber ist, davon werden wir uns in §. 9 zu überzeugen haben. Die Höhenlage eines Ortes muss natürlich bei jeder Erörterung phänologischer Natur Berücksichtigung finden, aber daran ist angesichts der Vielgestaltigkeit der hier influierenden Umstände nicht zu denken, dass jeder Vertikalerhebung um einen bestimmten Bruchteil des Erdhalbmessers auch immer eine Verspätung des Phaseneintrittes um eine konstante Anzahl von Tagen entsprechen müsse. Die von Angot mit vieler Mühe berechneten „Époches réduites" sind deshalb nur von sehr bedingtem Werte [147]. Indem aber Ihne solche Plätze untereinander verglich, welche in Breite und Seehöhe so ziemlich übereinstimmen, gelangte er [148] zu einer wertvollen Abschätzung des Einflusses der geographischen Länge, welche sich in der nachstehenden These konzentriert: Ausnahmen abgerechnet, tritt das Aufblühen europäischer (Frühjahrs- und Frühsommer-)Pflanzen im Westen bei angenähert gleicher Pol- und Meereshöhe früher als im Osten ein, und zwar gehört zu einer Entfernung von 111 km (I, S. 158) längs der Parallelkreise eine mittlere zeitliche Verschiebung der Phasenepoche um 0,9 Tage. — Nach einer anderen Seite hin wird der Phänologie ein neuer Weg gezeigt durch die — an Vorarbeiten von F. J. Cohn und Drude anknüpfende — Einteilung des Jahres in phänologische Jahreszeiten, wie sie wiederum Ihne durchgeführt hat [149]. Wenn seit dem Wiedererwachen des Pflanzenlebens die zeitlichen Abteilungen des Vorfrühlings, Erstfrühlings, Vollfrühlings, Frühsommers, Hochsommers, Frühherbstes und Herbstes unterschieden werden, so ist hiefür als der leitende Gedanke anzusehen, dass die zeitliche Entfaltung des vegetativen Lebens in räumlich ausgedehnten Gebieten eine fast durchweg übereinstimmende Reihenfolge aufweist. Speziell für mecklenburgische Verhältnisse hat Ihne [150] sein Prinzip am konkreten Beispiele eingehend erläutert.

Neben der Pflanzen- oder Phytophänologie haben wir oben auch eine Zoophänologie (ζῷον, Tier) als möglich bezeichnet, und in der That mangelt es nicht an achtbaren Versuchen, auch diesem Teile der Biologie jenen höheren Grad wissenschaftlicher Durchbildung zu verschaffen, welcher für die botanische Schwesterdisziplin, wie wir sahen, bereits einigermassen hat erreicht werden können. Es bedarf kaum

der Erwähnung, dass sich die Aufgabe hier noch schwieriger gestalten muss, denn die Tiere sind, wenige Ausnahmen abgerechnet, im Besitze freier Lokomotionsfähigkeit, und auch jene Eigenschaft, welche man beim Menschen den freien Willen nennt, kommt ihnen, wiewohl in stark abgemindertem Maſse, zu. Man wird deshalb noch vorsichtiger bei der Aufstellung von Gesetzen sich verhalten müssen, und für die Anwendung mathematischer Betrachtungsweisen gilt diese Regel ganz besonders. In Betracht kommen hauptsächlich drei Phänomene: Das Erwachen der im Winterschlafe begriffen gewesenen Lebewesen, das erstmalige Auftreten von Tieren (Schmetterlingen), deren Lebensdauer an die Jahresperiode gebunden ist, und die Termine der Abreise und Wiederkehr der Zugvögel. Andere Vorkommnisse, wie z. B. der erste Kuckuckruf, lassen sich diesen Kategorien leicht einordnen.

Einstweilen ist die Ansammlung zuverlässiger Erfahrungsdaten das Haupterfordernis für die Fortbildung der Tierphänologie. Die so beliebten Florenkalender (S. 256) hat wohl Justander [151] in Finnland zuerst auch auf die Fauna ausgedehnt. Systematische Anleitung zur Vornahme rationeller Beobachtungen scheint der rastlose Fritsch zuerst gegeben zu haben [152]. Auch von Karsten [153], Hoffmann [154] und Ziegler [155] ist auf diesem Gebiete viel gesammelt und gearbeitet worden. Die regelmässig sich wiederholenden Ereignisse im Leben der Zugvögel suchten Erman [156] und Hegyfoky [157] mit den Hilfsmitteln der Wahrscheinlichkeitsrechnung zu behandeln, und es ist insonderheit des letzteren Untersuchung auch wegen des methodischen Momentes recht beachtenswert. Er findet, dass ein 90 m hoch gelegener Ort im mittleren Ungarn das Eintreffen der Rauchschwalbe am 4. April zu erwarten hat; eine Erhebung um je 100 m verzögert den Termin der Ankunft im Durchschnitte um 3^d. Wenn man aus Hildebrandssons Resultaten (S. 251) über Isothermenwanderung den Tag ableitet, an welchem das ungarische Alföld (zwischen Donau und oberer Theiss) von der Isotherme $9{,}4^0$ durchschnitten wird, so darf man dortselbst dem Kommen des genannten Vogels entgegensehen. Es wird sich darum handeln, solche Berechnungen auch für andere Gattungen und Arten vorzunehmen. Eine wesentliche Unterstützung wird es dabei gewähren, wenn man mit v. Middendorff [158] auf der Landkarte die Isepiptesen (ἐπιπίπτειν, einfallen; natürlich wieder richtiger Homepiptesen) verzeichnet, d. h. die Kurven, welche alle Punkte synchroner Ankunft einer bestimmten Vogelspezies miteinander verbinden.

Die Zugstrassen der Vögel, an welche sich diese bei dem Fluge nach und von den wärmeren Ländern halten, entbehren gleichfalls nicht des phänologischen Interesses, denn dieselben sind zweifellos in erster Linie durch meteorologische, in langjährige Erfahrung ausgeprobte Bedingungen festgelegt, sei es auch nur, dass, wie Moebius [159] mutmasst, die Dünungsrichtung mancher Meere, welche selbst wieder (Abt. VI, Kap. 4) vom herrschenden Winde abhängt, eine Wegweiserrolle gespielt hätte. Die teilweise Darwinsche Ideen verwertenden Arbeiten von Palmén [160], Ph. Müller [161] und v. Homeyer [162] haben dem Probleme schon manch neue Seite abzugewinnen gelehrt, und durch das in England energisch angewendete System der Fragebogen [163] ist den Forschern auch ein sehr ausgiebiges Thatsachenmaterial zur Verfügung gestellt worden. Auch die offizielle Meteorologie Frankreichs nimmt in ihren Publikationen [164] neuerdings auf die als wichtig erkannten Erscheinungen des Vogelfluges Rücksicht.

§. 6. **Solarklima und Solarkonstante.** Nachdem wir in den vorstehenden Paragraphen in Erfahrung gebracht haben, welche Voraussetzungen erfüllt sein müssen, um das Klima irgend einer Erdstelle einer richtigen Beurteilung unterziehen zu können, kehren wir zurück zu einer genaueren Besprechung des solaren Klimas, welches nach §. 2 zuerst bekannt sein muss, wenn man das physische verstehen will. Die geometrische Seite des Problemes ist Gegenstand von §. 8; damit

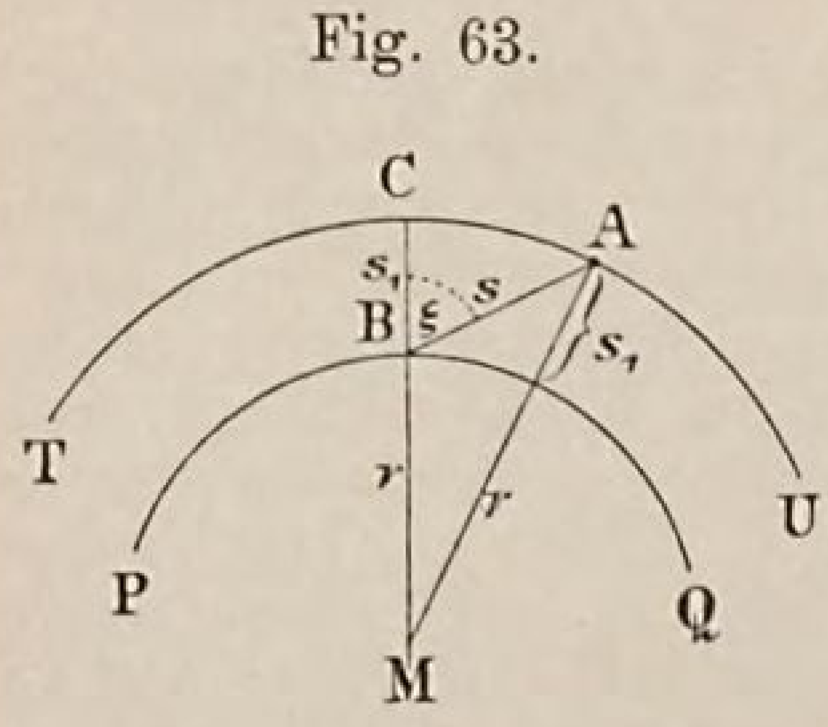
man aber die dort anzustrebenden Resultate auch numerisch ausnützen kann, bedarf es ersichtlich zweier Vorfragen: Wie viel Wärme kommt an der Aussenseite unserer Erdatmosphäre (S. 6) thatsächlich an, und wie viel geht beim Durchgange der Wärmestrahlen durch die Lufthülle verloren? Die zweite dieser Fragen, ganz summarisch schon früher (S. 12) gestreift, wird besonders abzuhandeln sein, während es sich zunächst darum handelt, das Quantum wirklich emittierter Sonnenwärme, die sogenannte Solarkonstante, zu bestimmen.

Diese Bestimmung erfolgt in Kalorien; als Einheit gilt diejenige Wärmemenge, welche notwendig ist, um in der Zeiteinheit die Gewichtseinheit reinen Wassers um 1° C. zu erwärmen. Versuche zur Eruierung dieser wichtigen Grösse wurden mehrfach unternommen; längere Zeit galt eine Bestimmung von Violle [165] als besonders vertrauenswürdig, aber in der Folge ist allseitig eine Monographie von Langley [166] als der verdienstvollste Beitrag zur Lösung der Frage betrachtet worden. Indessen kann über die Methoden und Resultate so lange keine genügende Rechenschaft gegeben werden, als bis nicht über die Prinzipien der Strahlenmessung überhaupt Klarheit geschaffen ward. Dies ist also zuvörderst anzustreben, denn da es uns nicht möglich ist, uns aus der Atmosphäre heraus zu versetzen und die Wärmekraft der Sonnenstrahlen im leeren — oder doch nur ganz schwach erfüllten — Raume (I, S. 101) direkt zu messen, so müssen wir auf Mittel denken, die beim Durchwandern der Luft sich ergebenden Wärmeschwächungen zu bestimmen, ähnlich, wie dies auch bezüglich der Lichtintensität geschehen musste (S. 96). Diesen Zweig der atmosphärischen Physik nennt man Aktinometrie (vgl. S. 104); eine gute Orientierung über die Entwickelung ihrer Ergebnisse ist von J. Maurer [167] gegeben worden, und einen selbständigen Lehrbegriff hat man von Radau [168].

Unsere Aufgabe zerfällt in zwei wesentlich verschiedene Teile. Es müssen die Gesetze aufgeklärt werden, nach welchen die Intensität der solaren Wärme eine von der Dicke der durchmessenen Schicht abhängige Schwächung erfährt; wir haben zweitens auf dem Grunde des Luftmeeres die Wärmekraft direkt zu messen, welche den dorthin gelangenden Sonnenstrahlen noch innewohnt. Aus dem hier gefundenen Werte lässt sich dann auf Grund des erwähnten Gesetzes die wirkliche Solarkonstante erschliessen.

Unter der Voraussetzung, dass für Licht und Wärme wesentlich die gleichen Verhältnisse obwalten, kann man auf die von Bonguer [169] und Lambert [170] für den Durchgang von Lichtstrahlen durch ein System diaphaner, planparalleler Glasplatten aufgestellten Formeln rekurrieren, wie dies auch später, mit manchen Verbesserungen, von seiten Pouillets [171] und Forbes [172] geschehen ist. Sehr übersichtlich ist der Gang der Rechnung bei Sprung [173], dem wir hier in der Hauptsache folgen. M (Fig. 63) sei der Erdmittelpunkt, BC = s_1 der kürzeste, längs des Erdradius gemessene Abstand der beiden sphärischen Ortsflächen gleicher Dichte PQ und TU, so dass folglich innerhalb dieser beiden Flächen eine dünne Schicht von der Mächtigkeit BC als homogen gelten kann. Ein Lichtstrahl geht von A nach B, wird also unserer Voraussetzung gemäss, auf diesem Wege s, dessen Differential ds ist, nicht gebrochen. Die mit der Intensität J_0 (Solarkonstante) in die Atmosphäre eindringenden Strahlen haben in A noch die Intensität J, so dass, unter α eine konstante Grösse, unter δ die Dichte innerhalb der Luftschicht BC verstanden, die Gleichungen

Fig. 63.



$$-dJ = \alpha\delta J ds = \alpha J dm$$

sich gleichsam von selbst verstehen; ein unendlich kleiner Luftwürfel von der Seitenlänge ds und der Dichte δ besitzt die Masse dm. Integriert man, so erhält man, da für J_0 keine Masse mehr zu durchdringen ist,

$$\log (J : J_0) = -\alpha m.$$

Die empirisch zu ermittelnde Zahl α heisst Absorptionskoëffizient. Gesetzt, es stehe die Sonne im Zenit, dann tritt ein Spezialwert J' an die Stelle von J, ein Spezialwert m' an die Stelle von m; so kann der Absorptionskoëffizient, der für eine ganz unbestimmte Luftschicht gegolten hat, eliminiert werden, und es findet sich:

$$(J' : J_0)^{\frac{m}{m'}} = J : J_0.$$

Den Bruch in der Klammer wollen wir gleich p, den Bruch im Exponenten, den Durchlässigkeits- oder Transmissionskoëffizienten (transmittere, durchsenden), wollen wir gleich ε setzen. Dann gilt der Satz: Solarkonstante und Wärmekraft der Sonnenstrahlen an der Erdoberfläche stehen durch die Gleichung $J = J_0 p^\varepsilon$ miteinander in Verbindung. Da ε dem Bruche AB : BC gleich sein muss, so kann man es aus dem Δ ABM berechnen, in welchem der Erdradius $MB = r$, ferner $MA = r + s_1$ (s. o.) und $\sphericalangle ABM = 180^\circ - \zeta$ gegeben sind, unter ζ die bekannte Zenitdistanz des Punktes A verstanden. Wenn dann noch $r : s_1 = \rho$ ist, so findet sich

$$\varepsilon = \sqrt{1 + 2\rho + \rho^2 \cos^2 \zeta} - \rho \cos \zeta.$$

Solange $\zeta < 80^\circ$ bleibt, kann ohne namhaften Fehler hiefür die abgekürzte Formel $\varepsilon = \sec \zeta$ eintreten. Die Berechtigung dieser ganzen Anschauungsweise, welche auch dann noch zu Recht besteht, wenn konzentrische Kugelflächen den ursprünglich allein in Betracht gezogenen parallelen Ebenen substituiert sind, hat Frölich [174], namentlich auch gegen Zenker [175], verfochten, welcher sich gegen die Berechtigung jener Ausdehnung erklärt hatte. Die Durchlässigkeit der Luft für Wärme nimmt mit der Zenitdistanz der Strahlenrichtung zu, wie dies auch Pernter [176] aus den pyrheliometrischen Messungen unter sehr hoher südlicher Breite folgern musste. Auch die etwas modifizierte Absorptionsformel [177] von Bartoli und Stracciati beruht auf ebendemselben Grundgedanken, der sich doch wohl dem wirklichen Vorgange am besten anpassen möchte, wenn er ihn auch nicht absolut genau darstellt. Wie bemerkt, wurde allerdings der Weg AB in der Figur als geradlinig angenommen, und der Strahlenbrechung (Kap. III, §. 2) wurde keine Rechnung getragen. Doch kann auch diese Verbesserung noch an unserer Theorie angebracht werden, wie J. Maurer dargethan hat [178]. Von entschiedenem Einflusse ist ferner auch der Feuchtigkeitsgehalt der Luft, dessen Bestimmung ein Hauptzweck der Experimente [179] von Bartoli und Stracciati war. Wenn die Dampfspannung wächst oder abnimmt, wird auch eine — natürlich nur scheinbare — Veränderung der Solarkonstante konstatiert.

Nachdem wir so über das Transmissionsgesetz uns ein Urteil gebildet haben, fragen wir weiter, wie man es anfängt, die Grösse J, den Absolutbetrag der auf dem Boden des Luftmeeres noch vorhandenen Wärmeenergie der Sonnenstrahlen zu finden. Das erste zu genaueren Versuchen dienende Instrument dieser Art war Pouillets Pyrheliometer [180] (πῦρ, Feuer, Wärme; ἥλιος, Sonne), hauptsächlich bestehend aus einem zylindrischen, mit Wasser gefüllten Metallblechkasten, der durch eine bequeme Vorrichtung so eingestellt werden konnte, dass die Sonnenstrahlen die berusste Zylinderfläche senkrecht trafen. Rasch wurden die Strahlen absorbiert, und das in die Flüssigkeit gesenkte Thermometer stieg um einen Betrag, der, da ja auch die Wassermenge und die Expositionsdauer bekannt waren, sofort die Umrechnung in Kalorien (S. 262) gestattete. Sehr genau kann das Pyrheliometer niemals arbeiten, schon deshalb, weil während der Beobachtung ein schwer zu taxierender Wärmeverlust infolge Ausstrahlung der Metallwandung stattfindet, und so muss man, dies wird durch Chwolsons [181] scharfsinnige Kritik der aktinometrischen Methoden ganz unwiderleglich dargethan, von Messungen mit diesem Instrumente wohl gänzlich Abstand nehmen. Crova, der im grossen und ganzen dem pyrheliometrischen Prinzipe höheren Wert beimisst, hat dasselbe zur Selbstregistrierung (S. 48) angewandt [182], indem er in einen Metallzylinder ein thermoelektrisches Element einschloss und die Achse des Zylinders, vermittelst parallaktischer Aufstellung, in stetem Parallelismus zu den Sonnenstrahlen erhielt, während die Schwankung der Galvanometernadel sich selbst auf photographischem Papier (S. 77) aufzeichnete. Schwankungen der Sonnenstrahlung mit grosser Schärfe zu kontrollieren, ist Crovas Apparat wohl geeignet, aber für absolute Bestimmungen erweist er sich als unzureichend. Jene Verhältnisbestimmungen, welche Crova in

Montpellier und, in Verbindung mit Houdaille, auf dem 1900 m hohen Gipfel des Mont Ventoux (Provence) angestellt hat [183], sind deshalb vertrauenswert, wenn auch jede einzelne Zahl mit einem gewissen Fehler behaftet sein sollte. Ihm zufolge hat die solare Wärmeaktion zwei Maxima im Frühling und Herbst, welche durch die alsdann herrschende sehr grosse Lufttrockenheit bedingt sein sollen (in Montpellier resp. 1,38 und 1,34 Kalorien) während die entsprechenden Minima (Dezember-Januar und Juni) ihren Grund in energischer Absorption der Luftfeuchtigkeit hätten. In grösserer Höhe ist der aktinometrisch verfolgte Gang der Sonnenwärme fast der gleiche, indem nur die grössten und kleinsten Werte nicht gleichzeitig, wie in der Ebene, erreicht werden, und indem auch die Amplituden sich verringern. In den vier Jahren 1883/86 war das Verhältnis unserer obigen Zahlwerte J zu Montpellier das folgende: 1,145 : 1,025 : 1,963 : 1,040.

Die Thermosäule ist auch von Frölich [184] als das passendste Mittel zur exakten Messung der Sonnenwärme charakterisiert worden. Die Säule bestand bei den — zum Teile in Berlin, zum Teile auf der Spitze des Faulhorns (Berner Oberland) vorgenommenen — Beobachtungen aus Stäbchen von Wismut und Zinkantimon; so wurde sie in ein Metallrohr verschlossen, und zum Abschlusse des letzteren auf der gegen die Sonne gekehrten Seite diente eine Steinsalzplatte; es ist nämlich Steinsalz, wie dies besonders durch die unermüdlich variierten Versuche von Knoblauch [185] festgestellt ward, durch einen sehr hohen Grad von Diathermansie (S. 12) ausgezeichnet; durch eine 2,6 mm dicke Schicht klaren Steinsalzes gehen 92 % aller Wärmestrahlen hindurch, einerlei, wie auch die Quelle beschaffen sein mag. An das Rohr ist ein Trichter angefügt, und diese Verbindung von Trichter und Rohr befindet sich in einem weiten Blechzylinder, der durch einen frei passierenden Wasserstrom auf möglichst konstanter Temperatur erhalten werden soll. Der ganze Apparat ist theodolitartig montiert. Methodische Bedenken haben zu einlässlichen Kontroversen geführt, an denen sich vorwiegend Obermayer [186] und H. C. Vogel [187] beteiligten. Letzterer bestritt, dass auf diesem Wege Schwankungen der Sonnenwärme, etwa durch Flecke veranlasst (vgl. S. 171), sicher nachgewiesen werden könnten.

Da auch gegen Violles Methode (s. o.) manche Einwände laut wurden, indem allerdings bei den hier vorkommenden sehr starken Temperaturdifferenzen das Newtonsche Strahlungsgesetz nicht mehr als gültig anerkannt werden kann, schien sich die Anwendung des bekannten kalorimetrischen Verfahrens, wie sie Ångström [188] ins Werk setzte, am besten zu empfehlen. Zwei in jeder Hinsicht gleiche Kalorimeter werden abwechselnd in die auf ihre Energie zu prüfende Strahlung gebracht, wobei alternierend zwischen denselben ein Temperaturunterschied (+ k) und (− k) auftreten wird. Das Zeitintervall zwischen den Momenten, welche dem Eintreten dieser Differenzen entspricht, sei t. Wenn dann der (bekannte) Wasserwert des Kalorimeters gleich d, die Absorptionsfähigkeit der Oberfläche für Wärme gleich a, die Grösse letzterer gleich c gesetzt wird, so findet sich die Intensität der Wärmestrahlung gleich

$$\frac{2\,d}{a\,c} \cdot \frac{k}{t} = \text{Konst.}\,\frac{k}{t}.$$

Wir werden bald Näheres von den Leistungen der verschiedenen Verfahrungsweisen hören.

Stillschweigend wurde bisher immer vorausgesetzt, dass die Gesamtstrahlung eines Wärmestrahlenbündels der Summe aus den Einzelwirkungen sämtlicher Strahlen gleichzuachten sei. Dies ist jedoch nicht richtig, vielmehr kommt den einzelnen Teilstrahlen des Spektrums auch eine verschieden grosse Intensität zu, oder, wie man sich neuerdings ausdrückt, die Absorption der Lufthülle für die einzelnen Wärmestrahlen ist selektiv (selectio, Auslese). Durch eine Reihe fundamentaler Untersuchungen Langleys [189], die sich in dem oben angeführten Werke konsolidierten, wurde diese Eigenschaft der Atmosphäre, der wir (S. 101) schon in der optisch-meteorologischen Abteilung begegneten, näher ergründet.

Das Hilfsmittel hiezu lieferte die Konstruktion des Bolometers [190] (βολή, Wurf; übertragen gleich Strahl). Das feine Instrument genau zu beschreiben, ist hier nicht wohl möglich; daher genüge, zu sagen, dass jeweils immer nur ein dünner Draht in die Richtung des einfallenden Partialstrahles gebracht und die Verschiedenheit der Erwärmung durch Messung des elektrischen Widerstandes bestimmt wird. Wie ungemein stark die Unterschiede sind, geht aus der folgenden Tabelle deutlich hervor:

W	0,375	0,400	0,450	0,500	0,600	0,700	0,800	0,900	1,000
J_1	112	253	424	570	**621**	553	372	238	235
J_2	27	63	140	225	311	**324**	246	167	167

Hier bedeutet W die in Mikrons (I, S. 66, 604) ausgedrückte Wellenlänge einer bestimmten Spektrumsstelle, so dass jedwede Zahl einer Fraunhoferschen Linie (I, S. 67) entspricht; J_1 und J_2 kennzeichnen die Strahlungsintensitäten bei hohem und bei niedrigem Sonnenstande. Aus Langleys Zusammenstellungen erhellt: Am stärksten werden die ultravioletten Strahlen, am wenigsten die gelben, roten und ultraroten Strahlen des Sonnenspektrums verschluckt. Indem Abney und Festing die in ihren Photographien des ultraroten Spektrumendes sich zeigenden Absorptionsbanden (I, S. 68) mit denen des Wassers verglichen, gelangten sie [191] zu dem auch aus den obigen Angaben (S. 262) zu bestätigenden Ergebnis, dass an der Absorption vorwiegend der atmosphärische Wasserdampf die Schuld trage. Damit würde sich Saweliews [192] Wahrnehmung vereinigen lassen, dass die Absorption, welcher dieser Physiker einen Vernichtungseffekt bis zu 64,7 % zuschreibt [193], sich dann als sehr geringfügig erweise, wenn die Luft sehr staubfrei sei. Man darf also annehmen, was ja an sich schon einleuchtend ist, dass mit der Reinheit der Luft auch deren Wärmedurchlässigkeit stetig zunimmt. Klare, trockene Wintertage, das geht namentlich auch aus den von Schukewitsch [194] für jeden Tag des Jahres 1893 bei gleichbleibender Sonnenhöhe von 24° gemachten Aufnahmen hervor, vermindern die Verschluckung beträchtlich. Wäre die Luft je absolut befreit von fremden Beimengungen, so würde die auswählende Absorption wohl kein so bedeutsamer Faktor bei thermischen Untersuchungen mehr sein, aber thatsächlich können wir, wie die Dinge liegen, Frölichs Zurückweisung [195] der Langleyschen Resultate nicht beitreten, selbst wenn, wie auch Abney und Festing (s. o.) betonen, die von dem amerikanischen Meteorologen konstruierte Strahlungskurve in ihren gestaltlichen Verhältnissen noch nicht ganz feststehen sollte. Im übrigen möchten wir auch noch anlässlich der noch immer strittigen Frage, in welchem Maſse das atmosphärische Wasser absorbierend wirkt, auf Woeikows Polemik [196] gegen Tyndall [197] und auf Röntgens [198] Bestätigung von Tyndalls Angaben aufmerksam machen.

Neben der eigentlichen Absorption ist auch die interne diffuse Wärmereflexion innerhalb der Atmosphäre zu beachten, welcher Trabert [199] seine Aufmerksamkeit zugewendet hat. Während die absorbierten Strahlen direkt zur Erhöhung der Lufttemperatur mitwirken, gehen die anderen nach allen Seiten auseinander, ohne besondere Spuren ihres Daseins zu hinterlassen. Auch die Zurückwerfung der Strahlen vom Erdboden will nach Hartl [200] berücksichtigt sein; ihnen ist jene Unruhe der Luft (S. 93) zur Last zu legen, welche bei geodätisch-astronomischen Messungen recht hinderlich werden kann.

Nach all diesen Ausführungen, welche die bei der Ermittelung der Solarkonstante sich geltend machenden Kriterien betrafen, gehen wir zur Angabe der von den verschiedenen Forschern gefundenen Werte über, indem wir für gründlicheres Studium besonders noch auf eine Schrift von Bartoli [201] verweisen, neben welcher auch die übersichtliche Darstellung einer deutschen Zeitschrift [202] verglichen werden mag. Pouillet (s. o.) fand den Wert 1,76; Ferrel [203] 2,10; Maurer (s. o.) 2,30; Violle (s. o.) 2,56; Lephay (s. o.) 2,79; Crova

(s. o., in 1900 m Höhe) 3,00; Langley (s. o.) ursprünglich 2,81, welchen Betrag er aber dann auch bis 3 steigerte; Saweliew (s. o.) endlich 3,47. Dafür, dass die Konstante zwischen den Zahlen 3 und 4 liege, ist eine grosse Wahrscheinlichkeit vorhanden, doch dürfte sie dem erstgenannten Grenzwerte näher sein. Nach Langley [204] muss die mittlere Absorption auf rund 40% der an der Aussenseite der Erdatmosphäre angekommenen Strahlungsenergie veranschlagt werden.

§. 7. **Die Ausstrahlung der Wärme.** Wie schon in Kap. I, §. 6 bemerkt ward, wechseln im Laufe der 24stündigen Tagesperiode Ein- und Ausstrahlung miteinander ab; bei Tage dringen die Wärmestrahlen in die feste Erde ein, und bei Nacht gibt die Erde die vorher empfangene Wärme wieder ab, so dass in nächster Nähe des Bodens eine oft recht intensive Abkühlung eintritt. Ueber den Betrag dieser nächtlichen Ausstrahlung hat schon die vergangene Zeit zahlreiche Untersuchungen gebracht; eine sehr erschöpfende Studie darüber ist diejenige von J. Maurer [205], welche für das folgende massgebend wurde.

Die Bedeutung dieses klimatischen Faktors hat wohl zuerst Six bei Gelegenheit seiner Untersuchungen [206] über die Bedingungen örtlicher Erwärmung gewürdigt, und auch Wells sah sich ganz natürlich darauf hingeführt, als er seine uns schon bekannte Theorie der Taubildung (S. 24) entwickelte. Dann ist auch Melloni, der sich so viel mit den Modalitäten der Wärmestrahlung und den Gesetzen der Emission absorbierter Wärme beschäftigte, dieser Aufgabe näher getreten [207]; weitere Beiträge brachte eine Mühwaltung Bravais' und Martins', denen eine Beobachtungsreihe auf dem Faulhorn zu danken ist [208]. Das von Pouillet (S. 265) vorgeschlagene Aktinometer sollte ebenfalls in erster Linie diesem Zwecke dienen; eine Thermometerröhre in horizontaler Lage ragt aus einem Metallkästchen heraus ins Freie, während die in dessen Inneren befindliche Kugel durch eine Umhüllung mit Schwanenfedern gegen Wärmezuleitung möglichst geschützt ist. Die Ausstrahlung bewirkt dann, dass das Quecksilber sehr beträchtlich unter den Stand eines frei von der Luft umspülten Thermometers sinkt, und diese sich ergebende Differenz nahm Pouillet als das Mass der Ausstrahlung, indem er von ihm aus sogar (I, S. 101) auf den Temperaturstand des Weltraumes schliessen zu dürfen glaubte. Er bekam für die Ausstrahlung einen sehr namhaften Betrag, während die von Melloni und Langley (S. 262) gefundenen Zahlen sehr viel kleiner waren. Allein alle diese Bestimmungen sind nur relativ; wenn der Ausstrahlungswert in Graden angegeben wird, so bedarf es noch eines Zusatzes, was man sich darunter zu denken habe, und es ist deshalb Maurers Zurückführung der in Rede stehenden Grösse auf Kalorien unbedingt vorzuziehen. Man möchte sagen, was der Einstrahlung (S. 12) recht, das sei auch der Ausstrahlung billig.

Der von Maurer angewandte Apparat rührt von Christiansen und F. Weber her [209], und zwar funktioniert bei ihm als kalorimetrischer Körper eine flache Zylinderplatte aus Kupfer, deren eine Fläche durch Berussung möglichst strahlungsfähig gemacht ist; diese Platte wird mit horizontalen Basisflächen im Inneren eines vertikalen, doppelwandigen Zylinders angebracht, durch dessen Aussenraum, wie bei Frölichs Thermosäulenkombination (s. o.), ein Wasserstrom hindurchgeht. Durch ein radial gebohrtes Loch mündet ein feines Thermometer, und ein zweites gibt die Wasserwärme an. Der Deckel des vertikal gestellten Zylinders hat in der Mitte ein Diaphragma konzentrisch zur Achse; öffnet man den Deckel, so kann man die Zenitalstrahlung messen und aus ihr dann die Gesamtstrahlung der Flächeneinheit ableiten. Die Temperatur der Aussenfläche der Kupferplatte, welche als isothermisch gelten kann, sei nach der Oeffnung des Diaphragmas $= \Theta$; dieselbe sinkt unter jene der Wasserfüllung, welche Θ_0 heissen möge, und so besteht z Sekunden nach dem Abheben die aus einer Kombination von Theorie und Erfahrung abgeleitete Gleichung

$$\Theta_0 - \Theta = \frac{\sigma F}{h O}\left(1 - e^{-\frac{h O z}{M c}}\right).$$

In ihr bedeutet σ die Intensität der Strahlung gegen das Zenit, M c die Wärme des Wassers plus derjenigen des Thermometergefässes, O die Oberfläche der kalorimetrischen Platte, F deren strahlende Fläche, h den Koeffizienten der Uebergangsleitung. Die bekannte Exponentialreihe ergibt

$$e^{-\frac{h O z}{M c}} = 1 - \frac{h O}{M c} z + \frac{1}{2}\left(\frac{h O}{M c}\right)^2 z^2 + \ldots;$$

bricht man beim zweiten Gliede ab, so kann man eine neue Gleichung anschreiben:

$$\sigma F = \frac{M c}{z}\left[\Theta_0 - \Theta + (\Theta_0 - \Theta) \cdot \frac{h O}{2 M c} z\right].$$

Der Bruch innerhalb der eckigen Klammer ist als Erkaltungskoeffizient bekannt; ihn zu ermitteln, wartet man eine tiefe Temperatur Θ_n ab, schliesst die Diaphragmenöffnung und misst die zugehörige Erwärmungstemperatur ϑ_n; dann ist

$$\frac{h O}{M c} z = \log\left(\frac{\Theta_n}{\vartheta_n}\right).$$

Der Radius der Kalorimeterplatte sei r, und von ihr sei das Diaphragma um die Strecke d entfernt; alsdann ist Σ, d. h. der Gesamtbetrag der Wärme, welche bei freier, horizontaler Exposition von der Flächeneinheit in der Zeiteinheit an die Luft unter dem Nachthimmel abgegeben wird, durch folgende Beziehungen gegeben:

$$\Sigma = \sigma \operatorname{cotang}^2 \tfrac{1}{2}\varphi; \quad \operatorname{cotang} \varphi = d : 2r.$$

Maurer fand in Gemässheit dieser Formel $\Sigma = 0{,}13$ Kalorien. Dies ist ungefähr der zehnte Teil des Strahlungsbetrages, welche die Flächeneinheit (1 qcm) bei normaler Bestrahlung und hohem Sonnenstande in der Zeiteinheit von jenem Gestirne empfängt.

Die Strahlung ist nach Trabert [210] von der Dichte der Luft abhängig, und ebenso natürlich auch die Ausstrahlung. Durch Vergleichung der Wärmemengen, welche kraft der Strahlungsakte vereinnahmt und verausgabt werden, kann man, wie dies von Trabert [211] geschehen ist, den Wärmehaushalt unserer Erde angenähert bestimmen.

Wenn auch die Ausstrahlung vielleicht nicht als besonders gross erscheint, so reicht sie doch hin, um Nachtfröste zu erzeugen und dadurch den Gewächsen ernstlichen Schaden zu bringen. Wenn die Temperatur der nahe am Boden befindlichen Luft unter Null sinkt, so bilden sich — für verschiedene Pflanzen allerdings nach den Untersuchungen [212] von Müller-Thurgau, Ad. Mayer und Bruijning durchaus nicht unter den gleichen Bedingungen — Eisansammlungen in den Interzellularräumen, an welche sich immer mehr von dem im Pflanzenkörper zirkulierenden Wasser ankrystallisiert, so dass schliesslich der Zellentod durch Wasserentziehung eintreten muss. Der Landmann ist nicht ganz ohne Mittel, die ihn vor den Wirkungen der nächtlichen Ausstrahlung schützen, falls die Meteorologie ihm zuverlässige Andeutungen über bevorstehende Nachtfröste zu geben in der Lage ist.

Eine solche hygrometrische Nachtfrostprognose zu erbringen, hat sich zuerst Kammermann [213] sehr angelegen sein lassen, obwohl man vielleicht die Idee dazu schon früher nachweisen kann [214]. Mit Kammermanns Methoden, die immerhin nicht alle drei als gleichwertig anerkannt wurden, erklärten sich in der Hauptsache J. Berthold [215] und Troska [216] befriedigt. Wollny allerdings war höchstens geneigt [217], dem bestbeglaubigten Verfahren dieser Art einen relativen Vorzug vor dem gleich nachher zu erörternden zuzugestehen, und auch Kiersnowskys [218] Prüfung fiel nicht eben sehr günstig für die Sache im ganzen aus. — Jedenfalls höchst bequem in der Anwendung ist die Taupunkt-

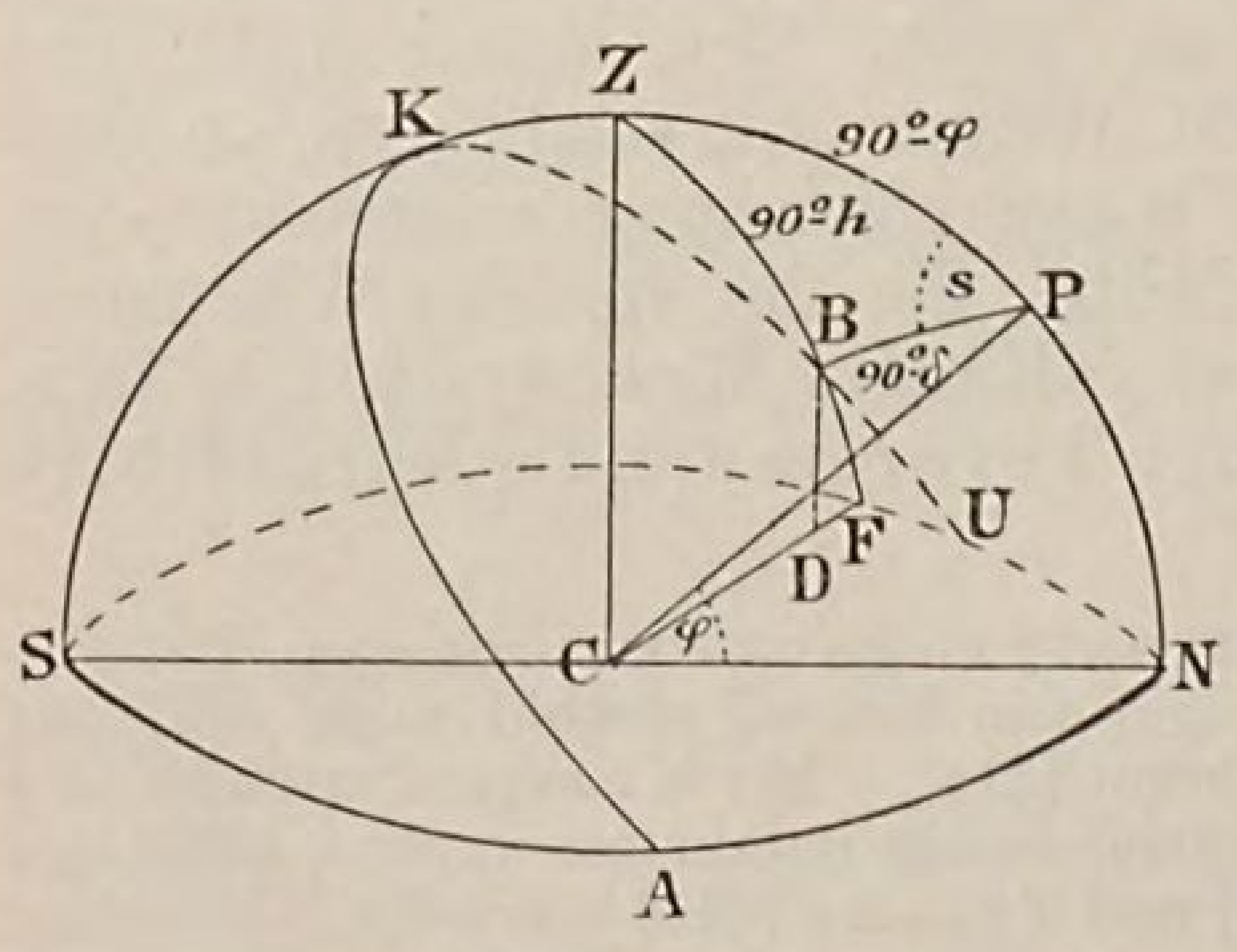
methode, welcher L. Lang [219] zwei Aufsätze gewidmet hat; der zweite derselben sucht insbesondere die Einwendungen Wollnys [220] abzuschwächen. Man konstruiert ein für allemal ein Kurvenschema und hat dann im Einzelfalle nur zuzusehen, ob der Punkt, dessen Abszisse und Ordinate den Thermometer- und Psychrometerbeobachtungen entnommen werden, unterhalb, auf oder oberhalb der genannten Kurve liegt. Wenn ersteres der Fall ist, so kann Nachtfrostgefahr als ausgeschlossen gelten; in den beiden anderen Fällen steht dagegen Frost zu befürchten. Durch Raucherzeugung kann der Gewarnte seine Fluren oder Weinberge vielfach retten, denn eine solche Decke ist offenbar der Wärmeabgabe hinderlich, während klarer Himmel der Ausstrahlung förderlich sich erweist. Es wird berichtet [221], dass in der Nähe der lothringischen Ortschaft Pagny für ein Areal von 110 ha Rebland 3800 Feuer mit möglichst feuchtem Holze angezündet wurden, nachdem man sich vergewissert hatte, das Thermometer werde zur Nachtzeit unter den Gefrierpunkt sinken, und so habe man wirklich die Ernte gerettet.

Weitaus die tiefsten Forschungen über das Nachtfrostphänomen sind in den letzten Jahren von dem finnischen Physiker Homén angestellt worden [222]. Er führte den Beweis für die Thatsache, dass — bei gleicher Höhenlage — die nächtliche Abkühlung über Moor- und Sumpfboden gewöhnlich intensiver als über trockenem Boden eintritt, zu welchem Ende er ein Mass der in verschiedene Bodenarten durch die Tageseinstrahlung eindringenden Wärmemengen zu finden lehrte. Die Trockenlegung der Moore würde jedoch für sich allein noch keine Abhilfe bringen, weil gerade trockener Moorboden zu den schlechtesten Wärmeleitern gehört. — Auch Homéns neueste Schrift (Der tägliche Wärmeumsatz im Boden und die Wärmestrahlung zwischen Himmel und Erde, Leipzig 1897) ist von hohem Interesse.

§. 8. **Theoretische Bestimmung der Insolationsbeträge.** Der Charakter dieses Paragraphen ist ein abstrakter. Es soll sozusagen das solare Klima (S. 247) theoretisch festgelegt werden, d. h. wir beschäftigen uns mit der Lösung folgender Aufgabe: Welche Wärmemenge erhält ein unter gegebener geographischer Breite φ gelegener Erdort im Laufe eines Jahres zugesandt? Man wird die Aufgabe zunächst in dieser ihrer rein geometrischen Form zu behandeln und nachher auch den in §. 6 ermittelten Absorptionswirkungen der Atmosphäre Rechnung zu tragen suchen. Schon jetzt aber sei hervorgehoben, dass eine Lösung in geschlossenen Ausdrücken nicht zu erzielen ist.

In Fig. 64 stellt C für einen Ort von der Breite φ den Mittelpunkt des Horizontes dar; S ist der Süd-, O der Ost-, N der Nord-, W der Westpunkt, Z das Zenit, P der Pol der betreffenden Halbkugel, so dass also $\sphericalangle PCN = \varphi$ wird. An irgend einem Tage möge die durch ihre Deklination δ bestimmte Sonne in A auf- und in B untergehen, während K ihr Kulminationspunkt im Meridiane SZPN sein soll. Verbänden wir A und U durch Hauptkreisbogen mit dem Pole P, so würden die beiden gleichen Stundenwinkel KPU und KPA ($= s_1$) resp. durch $\pm$ arc ($-$ tang δ tang φ) gegeben sein, wie dies in jedem Lehrbuche der mathematischen Geographie gezeigt wird. Wir wählen irgend einen Punkt B des Tagesbogens und denken uns von ihm auf die Horizontalebene das Lot BD gefällt, den Fusspunkt D aber mit C verbunden; verlängert man CD bis zum Durchschnitt mit dem Gesichtskreise in F, so liegt F zugleich auf dem Höhenkreise BZ, und es ist arc BF gleich der momentanen Sonnenhöhe h. Ein bei C befindliches Flächenelement erhält, während

Fig. 64.



die Sonne um einen unendlich kleinen Weg in ihrer scheinbaren Bahn fortschreitet, eine Wärmemenge gleich $J_1 \sin h$ zugeschickt, wenn J_1 die durch Absorption und Reflexion verminderte Sonnenkonstante, ursprünglich J (S. 265), vorstellt. Die Integrationsgrenzen für die Variable s sind $\pm s_1$, diejenigen für die Variable δ aber $\pm \varepsilon$, unter ε die Schiefe der Ekliptik (I, S. 258) verstanden. Bedeutet also W die gesuchte solare Jahreswärme, so wird

$$W = {}^1/_{4\pi}\, J_1\, \Delta^2 \int_{-\varepsilon}^{+\varepsilon} \int_{-s_1}^{+s_1} (\sin\delta \sin\varphi + \cos\delta \cos\varphi \cos s)\, ds\, d\delta.$$

Den Wert für sin h hat man dem sphärischen Dreiecke BPZ entnommen, in welchem Seite $BZ = 90^\circ - h$, Seite $BP = 90^\circ - \delta$, Seite $PZ = 90^\circ - \varphi$, $\sphericalangle BPZ = s$ ist. Die erste Integration, nach s, ist unschwer auszuführen; sobald aber dann die Grenzwerte eingesetzt sind, resultiert ein so verwickeltes Integral, dass nach δ nur mit Hilfe von Näherungsmethoden integriert werden kann. Δ ist der scheinbare Sonnendurchmesser (im Mittel $^1/_2{}^\circ$).

Ein erster Versuch, die Klimatologie mathematisch zu begründen, scheint auf Halley [223] zurückgeführt werden zu müssen, und zwar berechnete derselbe eine Tafel, welche die resp. am längsten Tage, an den beiden Aequinoktialtagen und am kürzesten Tage den verschiedenen Parallelkreisen zukommenden Insolationen darstellt. Für je eine Halbkugel der Erde sind die Zahlen folgende:

Polhöhe	Sonne in 0° ♑	Sonne in 0° ♈ oder ♎	Sonne in 0° ♋
0 Grad	1,8341	2,0000	1,8341
10 „	1,5834	1,9696	2,0290
20 „	1,3166	1,8794	2,1737
30 „	1,0124	1,7321	2,2651
40 „	0,6944	1,5321	2,3048
50 „	0,3798	1,2855	2,2991
60 „	0,1075	1,0000	2,2773
70 „	Ewige Nacht	0,6840	2,3543
80 „	der betreffenden	0,3473	2,4673
90 „	Polarkalotte	0,0000	2,5050

Ersichtlich sind diese Werte relative; es wurde die Intensität, mit welcher ein Aequatorort am 21. März oder am 23. September bestrahlt wird, willkürlich = 2 gesetzt, und in diesem Normalbetrage wurden alle übrigen Wärmeeffekte ausgedrückt. Unter anderem vermochte Halley an der Hand seiner Tabelle den Nachweis zu führen, dass der Erdpol während eines Zirkumpolartages der Sonne mehr Wärme empfängt, als ein unter dem Aequator gelegener Ort im Laufe eines 12stündigen Tages. Lambert, der als der nächste, und mit weit vervollkommneten Mitteln, an das Problem herantrat [224], blieb nicht bei der Tageswärme stehen, sondern berechnet auch [225] die Jahreswärme, indem er ausgiebig von der Entwickelung in unendliche Reihen Gebrauch machte. Der nächste Gelehrte, der die schwierige Aufgabe wieder aufnahm, war der — mit Unrecht selten erwähnte — Tralles [226], welcher auch schon so weit gelangte, die Erwärmung beliebiger Erdorte während gegebener Zeiten mit relativ grosser Genauigkeit numerisch auszudrücken. In neuerer Zeit haben, wenn wir die chronologische Reihenfolge einhalten, Meech [227], C. Wiener [228], Röllinger [229] und Schlemüller [230] diese Untersuchung fortgesetzt, und es ist dabei einerseits auf möglichste Annäherung in den Zahlenwerten, andererseits auf graphische Darstellung der Erwärmungsverhältnisse durch Kurven Bedacht genommen worden. Betrachten wir die heisse, je eine gemässigte und je eine kalte Zone für sich, so verhalten sich nach Röllingers Rechnungen [231] am Tage des Wintersolstitiums, eines Aequinoktiums und des Sommersolstitiums die Wärmemittel so, wie es die folgenden Verhältnisse kennzeichnen: 0,2460237 : 0,3096926 : 0,3252405; 0,1010123 : 0,2304719 : 0,3630056; 0,0000000 : 0,0851898 : 0,3824718. Alle diese Arbeiten können jedoch nur einen rein theoretischen Wert beanspruchen, denn die Schwächung, welche die Sonnenwärme (S. 263) beim Passieren der Lufthülle erleidet, ist unberück-

sichtigt geblieben. In die Rechnung hat zuerst Angot [232] den atmosphärischen Wärmeverlust einbezogen; uns Deutschen hat Pernter [233] die Resultate des französischen Forschers zugänglich gemacht. Mit Hilfe der mechanischen Planimetrie, welche (I, S. 318) ihm die doch nur approximativ mögliche Integration ersetzen musste, bestimmte Angot die Tagessummen der Wärmestrahlung an 15 ausgezeichneten Tagen, und zwar für 19 vorher ausgewählte Polhöhen; die Besselsche Reihe (S. 80) verhalf ihm dann dazu, die innerhalb eines beliebigen Zeitabschnittes einem Orte von beliebiger Breite zugeführten Wärmemengen mit grosser Genauigkeit zu ermitteln. Unter der Voraussetzung, dass der Transmissionskoëffizient von 0,6 nicht weit abweicht, ergibt sich, dass etwa die Hälfte jener Wärme, welche direkt von der Sonne stammt, an der Erdoberfläche wirklich zur Geltung kommt. Die Beeinflussung des solaren Klimas durch die Atmosphäre und durch die in ihr sich vollziehende Wärmeverschluckung hat sich als weit beträchtlicher herausgestellt, wie man vielleicht anfänglich zu glauben geneigt gewesen war.

Gestützt auf eine so bedeutsame Vorarbeit, kann man auch mit besserem Erfolge an die Lösung des thermogeographischen Problemes gehen, wie es Schoch [234] bereits vor längerer Zeit gestellt und mit den Mitteln seiner Zeit bearbeitet hat, während Madsen [235] die dazu führenden Formeln mit grösserer Schärfe entwickelt zu haben glaubt. Nicht bloss die normale mittlere Jahrestemperatur eines Ortes von der geographischen Breite φ, sondern auch Mitteltemperaturen für kleinere Zeiträume sollen ihren analytischen Ausdruck als Funktionen von φ erhalten. Auch hier versteht es sich ganz von selbst, dass man es nur, wie Hammer [236] richtig bemerkt, mit Interpolationsformeln, nicht aber mit eigentlichen Naturgesetzen zu thun hat, deren Formulierung, falls sie überhaupt innerhalb des Bereiches menschlichen Könnens gelegen wäre, sich sicher, angesichts so vieler ineinandergreifender Faktoren, unverhältnismässig verwickelter gestalten müsste. Man darf nie vergessen, dass es dem Mathematiker fast unter allen Umständen möglich ist, an der Hand der Methode der kleinsten Quadrate (S. 81) empirische Formeln aufzustellen, welche eine von vielen und komplizierten Bedingungen abhängige Relation verhältnismässig einfach durch algebraische oder auch goniometrische Grössen wiedergeben, ohne dass dadurch wirklich das Verhältnis von Ursache und Wirkung einen logisch adäquaten Ausdruck gefunden hätte. Steinhauser [237] hat eine eigene Schrift geschrieben, welche zu diesen für die Praxis unentbehrlichen Verrichtungen Anweisung erteilt. Wir werden im übernächsten Paragraphen, wenn wir die mathematische Abschätzung der vom physischen Klima herrührenden Einflüsse in Betracht zu ziehen haben, auf die Sache nochmals zurückkommen.

Unter den verschiedenen Näherungsformeln, welche sich bei der Behandlung thermogeographischer Aufgaben ergaben, ist besonders eine in der Anwendung von Wichtigkeit. Man kann nämlich wünschen, den Jahresbetrag der Sonnenstrahlung für einen ganzen Parallelkreis durch dessen Aequatorabstand φ auszudrücken. Die Formeln $W = a + b \cos \varphi$ oder $W = \alpha + \beta \cos^2 \varphi$, welche zu diesem Behufe in Vorschlag gebracht wurden, zeigten sich als ungenügend, während der von Haughton [238] aufgestellte Ausdruck

$$W = C \cos \varphi \,(1 + 0{,}4366 \operatorname{tang}^2 \varphi + 0{,}00049 \operatorname{tang}^4 \varphi)$$

nach Hann [239] eine gute Näherung (für gemässigte Breiten) liefert.

Eine Doppelreihe, die teils nach geraden Potenzen von $\operatorname{tang} \varphi$, teils nach geraden Potenzen des Sinus der Ekliptikschiefe fortschreitet, hat für W auch Schlemüller (s. o.) angegeben, und wenn man diese in geeigneter Weise abkürzt, so ergibt sich im wesentlichen der Näherungsausdruck Haughtons. In diesem bedeutet C die der Breite 0 entsprechende jährliche Strahlungssumme, und zwar ist dieselbe gleich dem 160582fachen der Sonnenkonstante (S. 265). Für die Breite von Wien erhält man eine Jahressumme von 338880 Kalorien.

Die atmosphärische Physik legt solchen Untersuchungen, in denen man früher mehr nur Uebungen in der Anwendung des höheren Kalkuls

erblickte, mehr und mehr auch eine entscheidende Bedeutung für die Beurteilung klimatologischer Fragen bei, und im Einklange mit dieser Wandlung der Auffassung steht auch der Umstand, dass man die Lehre von der Wärmestrahlung neuerdings auch in systematischer Form abzuhandeln begann. Dies hat insbesondere Zenker versucht, dessen Arbeiten somit hier ebenfalls eine Analyse erheischen.

Eine Schrift [240] Zenkers kann in der That sich den Anspruch auf eine möglichst allseitige Besprechung aller hier in Betracht kommenden Einwirkungen vindizieren. Zunächst wird die Sonnenstrahlung für den ganzen Erdball in Betracht gezogen, indem zugleich auf dessen sphäroidische Abweichung von der Kugelgestalt Rücksicht genommen wurde. Vom Vorhandensein einer Lufthülle wird, wie dies (s. o.) auch von anderer Seite geschah, vorerst Abstand genommen. Bezüglich der Integration hält sich der deutsche Mathematiker jedoch nicht an das von Meech (s. o.) geschaffene Vorbild, sondern er integriert, wie dies auch F. Roth [241] angeraten hatte, durch die ganze Ekliptik hindurch und gelangt so zu elliptischen Integralen [242], deren Werte mit fast absoluter Genauigkeit den Tabellen entnommen werden können. Alsdann wird eine neue Theorie der zusammengesetzten Strahlungen aufgestellt [243], welche sich auf der Annahme ungleichartiger Absorption (S. 265) aufbaut, und nicht minder wird auch der diffusen Strahlung ein erhöhtes Augenmerk zugewendet. Der Einfluss der an der Erde stattfindenden Reflexion wird ebenso wie derjenige der Strahlenbrechung und der Wolken untersucht. Weiterhin geht der Autor zum physischen Klima über, bei welchem wir ihm alsbald wieder begegnen werden, und diesem sind in der Hauptsache auch seine neueren, umfassenden Studien gewidmet. Die weitere Fortbildung unserer Einsicht in die Bedingungen und Konsequenzen der durch das solare Klima dargestellten Wärmeverteilung wird ohne stete Beachtung der Zenkerschen Methoden nicht möglich sein.

§. 9. **Die Grundkategorien des physischen Klimas.** Gäbe es, so hatten wir schon betont (S. 247), lediglich ein solares Klima, so wäre mit den in §. 8 gegebenen Aufschlüssen die Aufgabe der Klimatologie erledigt. Für sämtliche Orte des nämlichen Parallelkreises wäre der tägliche, monatliche und jährliche Wärmeempfang der gleiche; alle Isothermen (S. 250) müssten mit den Parallelkreisen zusammenfallen. Das würde für die ellipsoidische Erde ebensogut, wie für die sphärische, gelten. Indessen belehrt uns ein blosser Blick auf unsere Isothermenkärtchen, wie ungemein weit die Wirklichkeit von diesem Idealfalle der theoretischen Konstruktion abweicht.

Während noch Eratosthenes dafür gehalten hatte, klimatische Beobachtungen könnten auch für die Kartenkonstruktion Vorteile gewähren, verwarf, wie Berger berichtet [244], Hipparch diesen Gedanken gänzlich, weil er richtig erkannt hatte, dass zwei Orte unter gleichem Parallel doch klimatisch ganz verschiedene Züge aufweisen können; selbst Ptolemäus jedoch musste noch an dieses Auskunftsmittel sich halten, so lange ihm exakte geographische Ortsbestimmungen versagt blieben [245]. Einen völlig klaren Einblick in die Grundfragen der Klimatologie hat sich das griechische Altertum noch nicht errungen gehabt, wiewohl es an vereinzelten zutreffenden Hinweisen nicht fehlt.

Massgebend für die Ungleichartigkeit der klimatischen Verhältnisse ist vor allem die von der Physik näher bestimmte, aber auch schon durch die Erfahrungen des Alltagslebens nahe gelegte Thatsache, dass die Wärmeempfänglichkeit verschiedener Substanzen auch selbst eine denkbarst verschiedene ist. Den Begriff der Wärmekapazität hatten wir schon früher (S. 12) kennen zu lernen. Wenn nun zwei gleich grosse und dem solaren Klima gegenüber vollkommen gleich geartete Flächenstücke hinsichtlich ihres Wärmeaufnahmevermögens und ihrer Wärmekoerzitivkraft ein ganz abweichendes Verhalten an den Tag legen, so muss durch letzteres auch die Lufttemperatur — und in deren Gefolge auch jeder andere klimatische Faktor — beeinflusst werden.

Der wichtigste Gegensatz ist der des Wassers und des Festlandes, allein auch auf dem letzteren gibt es noch Verschiedenheiten genug. Nacktes Gestein saugt die Wärme begierig ein, gibt sie aber auch energisch wieder durch Ausstrahlung ab; Humus und Sandboden bethätigen sich in durchaus nicht übereinstimmender Weise; ja sogar die Färbung des Bodens ist von Wollny [246] als ein beachtenswertes Element erkannt worden. Vor allem aber bedeutet es einen grossen Unterschied, ob der Boden frei oder mit Vegetation bestanden ist. Schon eine gewöhnliche Pflanzendecke verändert die klimatische Eigenart des Geländes, wie dies ebenfalls von Wollny [247] und anderen im einzelnen nachgewiesen worden ist; noch tiefer einschneidend aber ist die klimatische Einflussnahme grösserer Baumansammlungen, der Wälder.

Da, wie wir gesehen haben (Kap. VI, §. 2), die vertikale Verteilung der Luftwärme durchaus keine gleichmässige ist, da vielmehr der Regel nach mit zunehmender Höhe eine Abnahme der Temperatur eintritt, so ist ersichtlich auch die Höhenlage eines Ortes nicht gleichgültig für die Gestaltung seines Klimas. Andeutungen in diesem Sinne kann man bei Aristoteles [248], der den Schnee auf hohen Bergen mit der dort herrschenden, andauernden Kälte in Verbindung bringt, und auch bei Strabon [249] aufzeigen.

Indem wir die Erörterungen dieses Paragraphen zusammenfassen, sehen wir uns zu einer Wahrnehmung gedrängt, welche wir in folgendem Satze formulieren. Es gibt zwei fundamentale Kategorien klimatischer Gegensätze; die eine ist durch die Antithese Wasser-Land, die andere durch die Antithese Höhe-Tiefe gekennzeichnet. Die üblichen Bezeichnungen sind im ersteren Falle Küsten-, Insel-, See- oder maritimes Klima und Binnen-, Land- oder Kontinentalklima, im zweiten Falle Tiefen- und Höhenklima, oder wohl auch, jedoch minder sachgemäss, Thal- und Bergklima. Nächstdem ist auch der Einfluss des Waldes auf das Klima als ein Unterfall der erstgenannten Hauptkategorie in Rechnung zu ziehen.

Klar und präzis hat die vorstehend geschilderten Klimaformen zuerst A. v. Humboldt [250] charakterisiert, von dem auch im wesentlichen die jetzt üblichen Bezeichnungen herrühren. Ihm ist Munckes [251] sehr zweckmässige Klassifikation nachgebildet, und durch die Werke von Kämtz (S. 4) sind diese Begriffe zum Gemeingute geworden. Es soll nunmehr unsere Aufgabe sein, die bisher nur ganz summarisch gegebenen Begriffsbestimmungen genauer zu fixieren und die wahre Bedeutung der die Klimatologie beherrschenden Gegensätze aufzudecken.

§. 10. **See- und Landklima.** Den Grundtypus dieser klimatischen Individuen können wir, ohne Appell an die Erfahrung, direkt aus den feststehenden Lehren über die Wärmekapazität ableiten. Wenn nämlich ausgedehnte Wassermassen sich nur langsam erwärmen, dafür aber (vgl. S. 12, S. 260) auch die Neigung bekunden, die in ihnen durch stetige Insolation aufgespeicherten Wärmevorräte länger zurückzuhalten, so muss die Nähe des Wassers mildernd, ausgleichend auf die Luftwärme wirken. Es wird sich also als physikalische Wahrheit der Satz aufstellen lassen: Das Seeklima schwächt die jahreszeitlichen Gegensätze ab, das Landklima verstärkt dieselben; in den dem Meere benachbarten Ländern pflegen die Winter gemässigt, die Sommer kühl zu sein, während tiefer im Binnenlande harten Wintern heisse Sommer gegenüberstehen. Mit diesem Satze stehen die klimatischen Beobachtungen von allen Teilen der Erde in der besten Uebereinstimmung. Auch die thermische Tagesschwankung fällt im

Küstengebiete kleiner als in Ländern von ausgesprochen kontinentalem Klimatypus aus.

Als die erobernden Römer das feuchtkühle Nebelklima der britannischen Inseln kennen lernten, drängte sich ihnen der grundsätzliche Gegensatz gegen das Klima der Mittelmeerländer von selbst auf, und der apologetische Schriftsteller Minucius Felix sprach die Ursache des milden Inselklimas ganz verständig in dem Satze aus [252]: „Britannia sole deficitur, sed circumfluentis maris tepore recreatur.“ Derselbe passt sich dem Sachverhalte jedenfalls besser als eine etwas vage Bemerkung des Theophrast an, welche man allerdings auch in solchem Geiste deuten kann [253]. Gelegentliche Beobachtungen gleicher Art hat auch die Folgezeit mehrfach gebracht, aber erst durch Humboldts Konstruktion der Kurven gleicher Mittelwärme ward das volle Verständnis des Sachverhaltes möglich gemacht. Während der Verlauf der Jahresisothermen im grossen und ganzen noch demjenigen der Parallelkreise ähnelt, ändert sich, wie Fig. 61 beweist, dieses Bild gänzlich bei den Isothermen des kältesten und wärmsten Monates. Halten wir uns allein an die Nordhalbkugel, so lehrt ein Blick auf die Karte folgendes: Beim Uebertritte der Isothermen des Januar vom Weltmeere auf den Kontinent senken sich die Kurven tief herab, um beim Verlassen des Festlandes wieder anzusteigen, und umgekehrt biegen im Juli die Isothermen an der Westküste der Kontinente scharf nach Norden aus, um sich an der Ostküste ebenso entschieden wieder nach Süden herabzusenken. Da die extremen Jahreszeiten beider Hemisphären um sechs Monate auseinanderliegen, so verhalten sich in der Hauptsache bei beiden die gestaltlichen Verhältnisse der Isothermen entgegengesetzt. Der Grund liegt klar zu Tage. Im Sommer erhitzt sich die Landmasse weit mehr, als das Meer, und im Winter findet über dem Lande eine weitaus kräftigere Abkühlung als über dem Wasser statt. Neben der an sich schon grossen Differenz der spezifischen Wärmen des Wassers und der Bodenarten kommt auch noch der Umstand zur Geltung [254], dass die bei steigender Temperatur sich vermehrende Verdunstung der Wärmevermehrung entgegenarbeitet. Die jährliche Temperaturschwankung der Ozeane ist, wie Abt. VI, Kap. III zu zeigen hat, eine geringe, am geringsten in den äquatorialen Gegenden, und damit ist auch gesagt, dass die synchronen Temperaturschwankungen an Inseln und Küsten selten hohe Beträge erreichen können [255].

Wenn Wasserflächen die Temperaturverteilung in so ausgesprochenem Maſse beeinflussen, so werden auch grössere Binnenseen, vielleicht sogar Ströme, eine analoge Wirkung ausüben müssen. Der Nachweis für die Seen ist denn auch schon mehrfach geführt worden. Winchell, von dem eine — ohne Ort- und Datumangabe veröffentlichte — Karte der Isothermen in der Umgebung der grossen nordamerikanischen Seen herrührt, versichert uns [256], dass am Ostufer des Michigan-Sees, die im übrigen für die Union so charakteristischen Früh- und Spätfröste gänzlich fehlen. Auch für den Boden-See lässt sich nach F. Walter [257] dasselbe behaupten, indem während des Herbstes, und noch mehr während des Winters, das Seegestade wärmer als das — auf gleiche Meereshöhe reduzierte — Hinterland ist. Hieher gehören auch jene phänologischen Nachweisungen (S. 260) über die in der Nähe grösserer — gelegentlich mit Eis sich bedeckender — Wasserbehälter in die Erscheinung tretende Verzögerung der Aufblühzeit vieler Pflanzenarten.

Gleichwohl kann man, wie Supan hervorhebt [258], nicht so leicht von einem gegebenen Orte entscheiden, ob ihm ein reines See- oder Landklima zukomme. Lässt man, wie es für den grossen Ueberblick gar nicht umgangen werden kann, eine einigermassen schematische Einteilung zu, so kann man auf Supans Isotalantosenkarte (S. 249) die folgende Bestimmung gründen: Es gibt vier Klimate: Reines Seeklima mit einer jahreszeitlichen Temperaturschwankung $< 15^\circ$; Uebergangsklima mit einer Schwankung $\geq 15^\circ \leqq 20^\circ$; Landklima mit einer Schwankung $> 20^\circ \leqq 40^\circ$; exzessives Kontinentalklima mit einer Schwankung $> 40^\circ$. Erstere Klimaform eignet in Europa England, vielleicht mit Ausnahme des hauptstädtischen Bezirkes, und der Südwestküste der skandinavischen Halbinsel, sowie auch einigen Hafenplätzen Hollands und Frankreichs, ferner dem atlantischen Küstensaume Spaniens und Portugals und schliesslich den meisten Küstenplätzen Italiens, ganz besonders Siziliens. Je tiefer man ins Innere Europas eindringt, um so entschiedener weicht das Seeklima vor dem mehr und mehr exzessive Formen annehmen-

den Binnenklima zurück. Die Isotalantosen sind hier freilich schwerer zu verfolgen, aber dafür gewähren die Aequiglazialen (S. 255) gute Anhaltspunkte, die, in Asiens Norden fortschreitend, stets niedrigere Breiten erreichen. Auch H. Fischers Studien [259] über die Aequatorialgrenze des Schneefalles sind in dieser Hinsicht recht belehrend. Sie lassen uns u. a. in der pyrenäischen Halbinsel einen kleinen vorgeschobenen Kontinent erkennen, dessen — durch Gebirge von der direkten Einwirkung der Seewinde abgeschlossene — interne Hochebenen ein scharf ausgeprägtes Kontinentalklima besitzen, welches sich auch durch ergiebigen winterlichen Schneefall ausprägt. Dagegen gehört Schnee, der noch dazu kaum ein paar Sekunden liegen bleibt, in Sizilien zu den grössten Seltenheiten; Griechenland, dessen Gebirgsstruktur wieder mehr an diejenige Iberiens erinnert, ist nach Neumann-Partsch [260] ungleich schneereicher, und selbst in Athen vergeht kaum je ein Jahr ganz ohne Schneefall [261], wogegen die alte Annahme, es gäbe auf der Pindushalbinsel Berge mit ewigem Schnee, durch die Olympbesteigung H. Barths [262] ihre Widerlegung gefunden hat.

Die Erde, als geometrischer Körper betrachtet, hat einen Aequator und zwei Pole; für das solare Klima bleiben diese Begriffe unverändert erhalten. Anders für das wirkliche, das physische Klima. Den thermischen Aequator erhält man [263], wenn man für jeden Meridian den Ort höchster Temperatur ausfindig macht und alle diese Punkte unter einander verbindet. Punkte, die ein relatives Minimum der mittleren Jahrestemperatur aufweisen, nennen wir Kältepole. Wir wählen mit Supan (s. o.) diese von der gewöhnlichen abweichende, dem Gesetze der Uebertragung verwandter Begriffe aber besser entsprechende Bezeichnung und definieren jene Stellen, die meistenteils Pole genannt werden, als Kältezentren. Ein Punkt der Erdoberfläche soll dann ein Kältezentrum heissen, wenn von ihm aus in beliebiger Fortschreitungsrichtung, auch gegen den kinematischen Pol hin, eine Temperaturzunahme konstatiert wird.

Der thermische Aequator, für dessen Verlauf Supan eine Karte [264] gezeichnet hat, ist eine ganz unregelmässig gekrümmte Linie, welche den geometrischen Gleicher viermal — im östlichen Polynesien, nahe der Amazonas-Mündung, im Atlantischen Ozean halbwegs zwischen Südamerika und Afrika, endlich nördlich des Bismarck-Archipels — schneidet und somit weiter von jenem abweicht, als dies der sonst ähnlich geformte magnetische Aequator (I, S. 533) thut. Im nordwestlichen Mexiko kreuzt ersterer sogar den nördlichen Wendekreis. — Dafür, dass die Drehungspole zugleich auch die kältesten Punkte wären, fehlt jeder Beweis; als Ort niedrigster mittlerer Jahrestemperatur (— 20°) scheint Lady Franklin-Bay in Grinnelland — wenigstens für die Nordhalbkugel — gelten zu müssen. Ebendort gibt es zwei Kältezentren, beide nicht unter sonderlich hoher Breite, sondern ziemlich in der Nähe des Polarkreises gelegen. Der eine dieser Punkte ist das ostsibirische Städtchen Werchojansk (67° 34′ n. Br., 133° 51′ ö. L., 107 m Seehöhe), wo sich Wild, der Leiter des meteorologischen Dienstes in Russland, ein Jahr lang zum Studium des extremsten Kontinentalklimas, aufgehalten hat [265]; das andere Kältezentrum fällt, wie Mohn aus Nansens Temperaturbeobachtungen folgerte, in das Innere von Grönland [266]. Während des erwähnten Jahres zeichnete Wild die folgenden, so zu sagen den klassischen Charakter des Binnenklimas darstellenden Monatsmittel auf: Januar — 53,1°; Februar — 46,3°; März — 47,7°; April — 15,8°; Mai — 0,1°; Juni + 9,6°; Juli + 13,8°; August + 6,4°; September — 1,6°; Oktober — 20,2°; November — 40,1°; Dezember — 49,9°. Die mittlere Jahrestemperatur berechnete sich auf — 19,3°, die grösste Differenz der Monatsmittel auf fast 67°. Kurze, sehr heisse Sommer, während deren die (I, S. 333) nur oberflächlich auftauende Erde sich mit einem kurzlebigen Blütenflor bedeckt, wechseln ab mit entsetzlich langen und strengen Wintern; die niedrigste dort aufgezeichnete Temperatur, zugleich niedrigster jemals von irgend einem Erdorte bekannt gewordener Thermometerstand, war — 67,7°. Bei solcher Kälte kann auch das ausdauerndste Pelztier Sibiriens, vom Menschen zu geschweigen, seine Schlupfwinkel nicht mehr verlassen, ohne rascher Vernichtung anheimzufallen. Selbst nicht ganz so niedrige Temperaturen werden auch in der Polar-

region nur selten beobachtet, am ersten noch in dem ebenfalls sehr kontinentalen britischen Nordamerika. Es wäre von Interesse, die äussersten Hitze- und Frosttemperaturen der Erde zusammenzustellen; der Marquis De Nadaillac hat dies versucht [267], ohne aber dabei mit der wünschenswerten Kritik zu Werke zu gehen, so dass man sich auf seine Daten nicht verlassen kann. — Die etwa 2000 m hoch gelegenen Eisgebirge Grönlands, welche Nansen (s. o.) überschritt, wiesen die nachstehenden Mitteltemperaturen auf: Januar -40^0, Juli -10^0, Gesamtjahr -25^0. Man kann folglich in die Achse der Rieseninsel das zweite Kältezentrum unserer Erdhalbkugel verlegen, ein drittes vielleicht in die Hudsonsbayländer.

Gesetzt, die Grenzlinien des festen und flüssigen Elementes auf der Erde wären nach einem geometrischen Gesetze gebildet, dann müsste es möglich sein, für den Gegensatz zwischen maritimem und kontinentalem Klima den mathematisch adäquaten Ausdruck zu finden. Jene Bedingung ist nun freilich nicht erfüllt, aber an Versuchen, durch zweckmässige Näherungsformeln die einschlägigen Verhältnisse darzustellen, hat es gleichwohl nicht gefehlt. Insbesondere ist man darauf ausgegangen, die mittlere Temperaturverteilung auf den Parallelkreisen in der Weise durch Formeln auszudrücken, dass der Anteil, den Land und Wasser an jenem Kreise haben, zur Geltung gebracht wird.

Wir nehmen an, das durch Festland begrenzte Stück des der Breite φ zugehörigen Parallels verhalte sich zu dem durch die Ozeane hindurchgehenden Stücke wie n : 1; wenn dann a, b, c und m empirisch zu ermittelnde Zahlen (vgl. S. 270) sind, so kann die Mitteltemperatur jenes Kreises nach Forbes, der sich zuerst mit diesem Probleme beschäftigte [268] in der Form $t_\varphi = a + b \cos^m \varphi + c n \cos 2\varphi$ wiedergegeben werden. Forbes fand $a = -10{,}8^0$, $b = 32{,}9^0$, $c = 21{,}2^0$, $m = {}^5/_4$, so dass, wenn die Erde in eine Land- und in eine Wasserhalbkugel zerfiele, wenn also im ersteren Falle n = 1, im zweiten n = 0 wäre,

$$t_\varphi^{\text{Land}} = -10{,}8^0 + 32{,}9^0 \cos^{5/4} \varphi + 21{,}2^0 \cos 2\varphi, \quad t_\varphi^{\text{Wasser}} = -10{,}8^0 + 32{,}9^0 \cos^{5/4} \varphi$$

sich ergeben würde. Die Differenz $21{,}2^0 \cos 2\varphi$ repräsentiert sodann den Unterschied der Temperaturen auf der Land- und Wasserhemisphäre. Etwas anders sieht die von Spitaler [269] verwendete Formel aus; die gleiche Bezeichnung beibehalten, liefert sie

$$t_\varphi = -2{,}43^0 + 17{,}61^0 \cos \varphi + (7{,}05^0 + 19{,}29^0 n) \cos 2\varphi.$$

Um mehr Uebersichtlichkeit zu erzielen, hat Precht [270] die von ihm so genannten Normaltemperaturen eingeführt; d. h. er nimmt n konstant, gleich 0,2443, an und erhält so Gebiete mit normaler Temperatur (Grosser und Indischer Ozean, Gebiete mit annähernd gleich bleibender positiver und negativer Anomalie, Gebiete mit zunehmender positiver und negativer Anomalie. Man kann diese Resultate in Parallele stellen zu denjenigen, welche von Tillo [271] auf anderem Wege gefunden wurden. Er gelangte zu den folgenden Mitteltemperaturen über den Meeren und Festlandkomplexen zwischen dem Nordpole und 50^0 s. Br.:

Mittlere Meerestemperatur: 17,9 (Januar); 19,2 (Juli); 18,3 (Gesamtjahr);
Mittlere Kontinenttemperatur: 7,3 (Januar); 22,9 (Juli); 15,0 (Gesamtjahr).

Die Schwankung beträgt nach diesem Schema $1{,}3^0$ über den Ozeanen, $15{,}6^0$ über den Kontinenten, wodurch wiederum der Gegensatz zwischen Land- und Seeklima kräftig illustriert wird.

Gegen die ganze Betrachtungsweise erhebt Woeikow [272] Einwendungen, die gewiss nicht unbegründet sind. Trotzdem entbehrt jene des Nutzens nicht, und zwar aus einem Grunde, den wir nicht besser als mit Hanns Worten [273] formulieren können: „Diese Rechnungsergebnisse sind, wenn sie sich auch ziemlich weit von den wirklichen Verhältnissen entfernen mögen, doch von einigem Interesse, weil sie uns eine klarere und bestimmtere Vorstellung von dem Einflusse von Wasser und Land auf die Temperatur der Erdoberfläche vermitteln, sowie von den Veränderungen, welche erstere erleiden würde, wenn die Verteilung von Wasser

und Land auf der Erde sich ändern würde." Speziell von Wichtigkeit sind solche Untersuchungen bei der Abschätzung des Verhältnisses, in welchem hinsichtlich ihrer Temperatur die Nord- und Südhalbkugel der Erde zu einander stehen. Man huldigte früher, weil doch jenseits des Aequators das Wasser bedeutend vorwiegt, der Ueberzeugung, dass dort eine grössere Kühle herrschen müsse, aber bestätigt hat sich diese Meinung bei Hanns [274] genauerer Prüfung keineswegs. Für eine Zone zwischen 0° und 42½° gilt dies allerdings; dagegen ist eine Wasserkalotte zwischen 42½° und 90° Breite wärmer als eine entsprechende Festlandkalotte. Gross ist natürlich der Temperaturunterschied nicht, wie sich auch aus Madsens detaillierten Rechnungen (s. o.) schliessen lässt. Dieselben beweisen sogar, insoweit formaler Rechnung eine wirkliche Beweiskraft (vgl. S. 270) zukommt, dass beide Erdhalbkugeln nahezu gleich temperiert sind, indem sich für die nördliche Erdhälfte eine Mitteltemperatur von 15,4° und für die südliche eine Mitteltemperatur von 15,2° herausstellte.

Einen entschiedenen Fortschritt verdankt, worauf wir (S. 271) schon hin wiesen, das thermogeographische Problem den konsequent auf dieses Ziel gerichteten Arbeiten Zenkers. Von der Voraussetzung ausgehend, dass gleichen Strahlungsdifferenzen auch gleiche Temperaturdifferenzen entsprechen, sucht derselbe je zwei Erdstellen unter verschiedenen Breitengraden auf, denen man bezüglich die Temperatur des reinen See- und Landklimas zuschreiben kann [275]; für das Seeklima dienen ihm als Norm die Isothermen von 23° und 8° auf der Südhalbkugel, welche in den strömungslosen Teilen des Stillen und Indischen Ozeans ungefähr mit den Parallelkreisen von 20° und 50° gleiche Richtung verfolgen. Die Differenz der eingestrahlten Sonnenwärme beläuft sich (vgl. §. 6) zwischen diesen beiden Breitenkreisen auf 0,07941 Einheiten, welche einer Differenz der mittleren Jahrestemperaturen von (23 — 8 =) 15 Celsiusgraden entsprechen. So lässt sich für 10 n Breitengrade (n = 0, 1,2 . . . 9) die zugehörige Meerestemperatur berechnen; für eine Polhöhe von 20° und 70° finden sich z. B. die Temperaturen + 23° und — 4,5°. Hann [276] hat Zenkers kalkulatorische Resultate, wie er sie für eine Wasserhemisphäre erhielt, mit den besten anderen Bestimmungen verglichen und eine sehr befriedigende Uebereinstimmung erhalten. Zur Beurteilung des Binnenklimas schuf sich Zenker [277] einen Masstab der Kontinentalität, indem er zuerst eine Karte der Linien gleicher relativer Temperaturschwankungen anfertigte und wenn m die jeweils einer solchen Kurve beigeschriebene Zahl bedeutet, den Prozentbetrag x der Kontinentalität durch die empirisch gewonnene Gleichung $x + \frac{1}{6}(100 - x) = m$ bestimmte. Wenn dann für einen Ort die Breite, der Kontinentalitätsfaktor und — als ein unentbehrliches accessorisches Element — die Temperatur des jenen Ort noch erreichenden Seewindes (S. 195) gegeben vorliegen, so kann [278] die dort herrschende Jahrestemperatur mit einer oft überraschenden Annäherung ermittelt werden. Später hat der genannte Autor auch die Meereshöhe in seinen Berechnungsmodus hereingezogen [279] und für gewisse Plätze von absoluter Kontinentalität, vorab in der Nähe des sibirischen Kältezentrums (S. 274), für welche also das den Einfluss der Meereswinde darstellende Glied vernachlässigt werden kann, relativ sehr gut stimmende Temperaturwerte ermittelt. Ein erst mehrere Jahre darauf erschienenes, umfassendes Werk von Zenker [280], in welchem auch gewissen, vorher als minder einflussreich bei Seite gelassenen Faktoren Rechnung getragen wird, kann als die Quintessenz der Bestrebungen, Oberflächentemperaturen aprioristisch aus den gegebenen Bedingungen der Bodengestalt, der geographischen Lage und der atmosphärischen Zusammensetzung zu berechnen, angesehen werden und verdient deshalb die höchste Beachtung der Klimatologen. Aber freilich wird, wie auch eine Besprechung des Werkes betont [281], eine theoretische Lösung des thermogeographischen Problemes immer an der unendlichen Komplikation der Naturvorgänge scheitern, die sich durch kein noch so sinnreich ausgedachtes Formelnsystem vollkommen genau abbilden lassen. Jedenfalls ist durch die Arbeiten von Madsen (S. 270) und Zenker so ziemlich das Mögliche auf diesem Arbeitsfelde erreicht worden.

Eine einschaltende Bemerkung erinnerte oben daran, dass bei dem Versuche, das Meeresklima in seiner grösstmöglichen Reinheit zu erkennen, solche Ozeane gewählt werden mussten, deren bezügliche Partien strömungsfrei sind. Dies hat seinen guten Grund, weil die Meeresströmungen (vgl. Abt. VI, Kap. V) einen sehr erheblichen Einfluss auf die klimatischen Zustände

ausüben. Hann hat [282] diesem Einflusse einen besonderen Abschnitt eingeräumt. Im Atlantischen und Pazifischen Ozean haben sich, innerhalb niedrigerer Breiten, förmliche Strömungsringe herausgebildet, deren Wirkung sich dahin präzisieren lässt [283]: Höhere Temperatur der Ostküsten in tropischen und subtropischen Breiten gegenüber den Westküsten, sodann gegen den Aequator hin anfänglich wachsende negative Temperaturanomalien der Westküsten, an denen sich kalte Meeresströmungen hinziehen. Auch das Aufsteigen kalten Bodenwassers, wie es zumal von Puff [284] an der Nordwestküste Afrikas nachgewiesen wurde, darf nicht ausser acht gelassen werden. Dass der Golfstrom mit dazu beiträgt, die gesamten Nordwestküsten Europas, sowie auch die grönländische Westküste vor empfindlicher Kälte zu bewahren, unterliegt keinem Zweifel, wenn man auch ehedem diesem warmen Strome eine gar zu grosse Mitwirkung an der Klimagestaltung unseres Erdteiles einräumen wollte; und die einzige Wüste (Atacama) Südamerikas weist umgekehrt darauf hin, dass da, wo ein kalter Strom an die Küste herantritt, die Bildung aufsteigender Luftströme (S. 189) und damit auch die Regenbildung verhindert wird. Als klassisches Beispiel des Einflusses verschieden temperierter Meeresströmungen tritt uns Grönland entgegen, denn der stärker bewohnte, ein gemässigtes Klima aufweisende Westrand wird von einem nordwärts entsendeten Zweige des Golfstromes berührt, und längs des ganz unwirtlichen Ostrandes kommt ein — zumeist Eis führender — kalter Strom aus dem höchsten Norden herab.

Einige Worte sollen auch noch über die Beziehungen des Pflanzenlebens zu den Klimaformen gesagt werden. Wenn Ihne (S. 260) eine Verspätung des Eintrittes gewisser vegetativer Phasen mit dem Fortschreiten von West nach Ost konstatierte, so wissen wir jetzt, dass sich in dieser Verzögerung nur der Einfluss des Kontinentalklimas ausspricht. Ganz allgemein gilt nachstehende Regel: Pflanzen, die eines mehr gleichmässigen Klimas zu ihrer Entwickelung bedürfen, sind auf die dem Meere benachbarten Gegenden angewiesen; Pflanzen dagegen, welche zwar starke Winterkälte ertragen, zur vollen Reife aber hohe Sommerhitze brauchen, gedeihen nur tief im Binnenlande. Das Winterklima des nordwestlichen Frankreich, der Südküste von England und der Westküste von Irland ist ein so gleichbleibend mildes [285], dass Feigen, Araukarien, Magnolien u. s. w. dort fortkommen, Orangerien ohne künstlichen Schutz die kalte Jahreszeit zu überstehen vermögen; Wein hingegen liess sich in Grossbritannien niemals einbürgern, seitdem Kaiser Probus Versuche in dieser Richtung anstellte, und auch unser gewöhnliches Obst findet dortselbst keine Heimstätte. Astrachan hinwiederum, obwohl in dem durch mehrere Monate vom Eise gesperrten Delta der Wolga gelegen, zeichnet sich nach Humboldt [286] durch besonders schöne Trauben aus; der Einfluss des Kaspischen Meeres kommt eben neben demjenigen eines besonders rücksichtslosen Binnenklimas zu gar keiner Geltung, und die mittlere Sommerwärme stellt sich neben die des berühmten Weinortes Bordeaux. Zum Beweise dafür, dass zunehmende Kontinentalität — im Sinne Zenkers (s. o.) — und zunehmende Meereshöhe hemmend auf das Wachstum der Rebe einwirken, hat Humboldt [287] eine sehr instruktive Tabelle berechnet. Wie es kommt, dass desungeachtet in Norddeutschland noch einige bescheidene Weinbauzentren — Naumburg, Meissen, Grünberg (Schlesien) — ihr Leben fristen, wäre noch eingehender zu untersuchen; man müsste etwa mutatis mutandis die Methode, nach welcher Dellmann [288] die klimatischen Bedingungen der rheinischen Rebkultur festzustellen bemüht war, auf jene Exklaven übertragen. Auch Zeichnungen der Linien gleicher mittlerer Jahresmaxima, nur für kleinere Bezirke, als dies in den grösseren Kartenbildern van Bebbers (S. 249) geschehen konnte, würden manchen Aufschluss gewähren; denn der Einfluss der Bodenkonfiguration tritt in diesen Kurven sehr deutlich hervor [289], indem sich zumal die Gebirge in ihrer Bedeutung für den Windschutz offenbaren.

Es war bislang so gut wie ausschliesslich davon die Rede, dass die Gegensätzlichkeit zwischen dem Land- und Seeklima sich in dem Temperaturzustande der zu der einen oder anderen Kategorie gehörenden Erdgegenden ausspräge. Damit jedoch sind die Kriterien der beiden wichtigsten Klimaformen durchaus nicht erschöpft. Feuchtigkeit, Bewölkung und Sonnenscheindauer erweisen sich nicht weniger als gewichtige Momente; Verdunstung, Niederschlagshäufigkeit

und Niederschlagsmenge wollen ebenfalls beachtet sein. Auch der Luftdruck verteilt sich über dem Wasser und über dem Lande nicht gleichmässig, und wenn dies der Fall, so muss sich auch im Wehen der Winde die klimatische Eigenart geltend machen. Es bleibt uns noch übrig, auf die hiemit umschriebenen Verhältnisse einen Blick zu werfen, wobei wieder Hanns Werk [290] zur Richtschnur dient.

Der Wasserdampfgehalt der Luft nimmt im allgemeinen mit der Entfernung von der Küste ab, obwohl über den Kontinenten, selbst im Wüstengebiete, noch mitunter unerwartet hohe Feuchtigkeitsgrade beobachtet werden, weil es eben doch viele sekundäre Gelegenheiten zur Abgabe von Wasser an die Atmosphäre gibt. Die Messungen, welche Rohlfs [291] in afrikanischen Oasen vornahm, ergaben oft einen ganz stattlichen Dampfdruck. Wohl aber steht eine andere Thatsache fest: Je kontinentaler das Klima, desto geringer ist die mittlere Bewölkung. Dem Auge macht man den Sachverhalt dadurch am besten ersichtlich, dass man die Kurven gleichen Bewölkungsgrades, die Isonephen (νῆφος, Wolke) konstruiert. In einer für einen anderen Zweck bestimmten Karte (Fig. 65) sind nebenher auch die europäischen Isonephen eingetragen, wie sie Renou [292] angegeben hat; zwar ist das Diagramm kein mustergültiges, und wir haben seither durch Teisserenc de Bort (S. 183) ein besseres empfangen, aber immerhin ist auch ersteres sehr dazu geeignet, die Abnahme der durchschnittlichen Himmelsbedeckung in der Richtung von NE nach SW augenfällig zu machen. Die beigesetzten Zahlen geben (S. 29) an, ein wie grosser Teil des Firmamentes im Durchschnitte von Wolken eingenommen ist. W. König, der die Registrierungen der europäischen Sonnenscheinautographen einer sorgfältigen Bearbeitung unterzog, hat gefunden [293], dass, wenigstens im Frühjahr und Sommer, die durch Schätzung der Bewölkung ermittelten Zahlen mit den durch direkte Messung der Sonnenscheindauer gewonnenen sehr gut übereinstimmen. Die schwächste Bewölkung scheint sich in Nordafrika, Arabien, in den Wüsten von Arizona und Neu-Mexiko und vielleicht noch im Inneren Australiens zu finden [294]. Schönrock teilt mit [295], dass den 20 heiteren Tagen, auf welche ein Anwohner des Weissen Meeres durchschnittlich zu rechnen hat, 180 heitere Tage in den turkestanischen Steppen gegenüberstehen. — Russland ist es auch, dessen besonders gut organisierte klimatologische Forschung uns Material zur Beurteilung des wechselseitigen Verhaltens von Verdunstung und Regenfall geliefert hat. Aus einer umfassenden Veröffentlichung [296] von Stelling und Britzke geht hervor, dass extremes Kontinentalklima durch gewaltige Verdunstungsgrössen und minimale Niederschlagsmengen ausgezeichnet ist, während in der Nähe des Meeres nicht viel verdunsten kann, weil die Luft schon sehr viel Wasserdampf in sich schliesst. — Hoher Luftdruck ist dem Kontinentalklima mehr als dem Seeklima eigen; so könnte die sibirische Kälteinsel (S. 274) nicht von Bestand sein, wenn nicht im Winter über Nordasien eine gewaltige Antizyklone sich lagerte. Hierüber haben Stellings Arbeiten viel Licht verbreitet [297]. Die klimatischen Beziehungen der Winde werden allein dadurch schon klargestellt, dass die feuchten, tief ins Land hinein wehenden Winde nur dem Küstenklima eigen sind, im Binnenlande aber ganz von selbst fehlen. Sonst sind Hellmanns Studien [298], welche sämtliche meteorologische Stationen der Erde, falls sie mindestens zehn Jahre im Betriebe stehen, berücksichtigen, von Wert für unseren Zweck. Wir entnehmen ihnen nur zwei Thatsachen: Mit der Entfernung von der Küste nimmt die Windgeschwindigkeit ab; die Amplitude der jährlichen Periode ist im Bereiche des maritimen grösser als im Bereiche des kontinentalen Klimas. — Aus allen diesen Angaben, welche natürlich noch mit Leichtigkeit vermehrt werden könnten, ziehen wir den Schluss, dass es keinen klimatischen Faktor gibt, der nicht im Küstenklima, wenn dieser Ausdruck gestattet wird, eine andere Physiognomie aufwiese, als man sie tiefer im Binnenlande an ihm gewahrt.

§. 11. **Tiefen- und Höhenklima.** Zwei Orte von annähernd gleicher geographischer Breite und Länge weichen in klimatischer Beziehung stets von einander ab, wenn ihre Höhenlage eine verschiedene ist. Gebirge modifizieren das Klima, und alle Gebirgsländer haben gewisse meteorologische Eigenschaften mit einander

gemein [299]. Davon, dass der Zunahme der Meereshöhe auch unter normalen Verhältnissen eine Abnahme der Temperatur entspricht, hatten wir bereits (Kap. VI, §. 2) Notiz zu nehmen, und es wird uns dieser Umstand noch näher beschäftigen müssen. Allein sein Bewenden hat es dabei nicht. Auch der Luftdruck nimmt, wie die Möglichkeit barothermometrischer Höhenmessung (Kap. II, §. 8 und 9) beweist, nach oben ab, und nicht minder treten Aenderungen in der Art und Grösse der Luftdruckschwankungen hervor. Die Sonnenstrahlung nimmt, da ja eine minder mächtige Luftschicht zu durchlaufen ist, ganz ebenso wie die Wärmeausstrahlung zu. Natürlich wird auch der tägliche und jährliche Wärmegang ein anderer. Endlich hängt auch die Ergiebigkeit des Niederschlages von Höhe und Richtung der von feuchten Luftströmungen getroffenen Gebirgszüge ab, und endlich spielen (vgl. S. 284) die Gebirge eine gewisse Rolle als Klimascheiden. So gelangen wir zur Stellung einer ganzen Anzahl von Fragen, auf welche auch grösstenteils eine befriedigende Antwort erteilt werden kann.

a) **Luftdruckabnahme mit der Höhe.** Der mittlere Luftdruck ist, gleiche Höhe vorausgesetzt, nicht unter allen Breiten der gleiche, wenn die Seehöhe die gleiche ist; da vielmehr die Wärme die Luft ausdehnt, deren spezifisches Gewicht vermindert, so wird in warmen Ländern die Druckabnahme eine raschere sein. Damit ist jedoch nicht gesagt, dass, unter sonst gleichen Verhältnissen, in den Tropenländern der Luftdruck geringer als in der gemässigten und in dieser wieder geringer als in der kalten Zone wäre, wie denn auch im mitteleuropäischen Winter das Barometer im Durchschnitte unter seinem sommerlichen Stande steht [300]. Die Wirkungen der Luftdruckverminderung auf den Organismus studieren wir im elften Kapitel.

b) **Luftdruckschwankungen in verschiedenen Höhen.** Die jährliche Schwankung des Luftdruckes wächst mit der Höhe, wogegen die unregelmässigen barometrischen Schwankungen (Kap. V, §. 3) nach oben zu abnehmen [301]. Was die Tagesschwankung anlangt, so tritt eine Vertiefung des Nachmittagminimums in Gebirgsthälern ein, wogegen umgekehrt auf Berggipfeln und an Berghängen das Morgenminimum sich ungleich kräftiger als das nachmittägige markiert.

c) **Ein- und Ausstrahlung auf der Höhe.** Anlässlich seines ersten Versuches, den Montblanc zu besteigen, bemerkte Saussure [302]: „Obschon das Thermometer nur auf 2,5 stand und die unmittelbare Wirkung der Sonnenstrahlen es nur auf 4,7 hinauftrieb, schien uns doch diese Sonne sehr brennend, und wenn wir stille waren, fiel uns dieselbe ohne Schirm fast unerträglich." Der grosse Alpenforscher begnügte sich nicht mit der Konstatierung der Thatsache, sondern er dachte auch an eine Erklärung [303], die allerdings nicht glücklich war. Er suchte die wahrgenommenen Gefühle physiologisch zu deuten, weil infolge der Luftdruckabnahme „eine merkbare Entspannung in dem ganzen System unserer Gefässe" eintreten müsse; in Wahrheit aber ist der Grund ein physikalischer, denn die in der dünnen Luft weniger stark absorbierten Wärmestrahlen können auf Bergeshöhen ihre Energie weit ungehinderter entfalten. Später sind auf Berggipfeln messende Beobachtungen über Wärmestrahlung angestellt worden, so insbesondere von Violle [304]. Es ist zumal der verringerte Wasserdampfgehalt (s. u.), den man an der Vermehrung der Strahlungskraft spürt. Aus den von Elster und Geitel vorgenommenen Messungen [305] über die Schwächung der ultravioletten Strahlung (S) durch die Luft erhellt, dass, wenigstens für diese Strahlengattung, die Meereshöhe von grossem Einflusse ist. Nachstehend werden hiefür einige Belegzahlen beigebracht:

Ort	Wolfenbüttel	Kolm Saigurn (Hohe Tauern)	Sonnblick
Höhe in m	80	1600	3100
S	38	72	94

Da die genannten Physiker den Strahlungswert S beim Eintritte in unsere Lufthülle aus theoretischen Gründen gleich 236 setzen, so folgt, dass bis zum Eintreffen auf dem Sonnblickgipfel 60 % der ultravioletten Strahlung, in den untersten 1600 m jedoch wieder davon 47 % verloren gegangen sind. Nach Lecher [306] dürfte die verstärkte Strahlung in der Höhe auch mit dem relativen Mangel an Kohlensäure in den oberen Regionen zusammenhängen. Es ist demzufolge nur natürlich, dass auch die chemische Intensität der Strahlung mit der Höhe zunimmt. Dies ist durch die Untersuchungen [307] von Bunsen und Roscoe ausser Zweifel gestellt; sie fanden u. a., dass jene Kraft in einer Seehöhe von 2600 m nur 11 % grösser als am Meeresspiegel ist. — Mit der energischeren Wärmestrahlung auf Bergeshöhen korrespondiert, wie die von Hann [308] gesammelten Beobachtungen von Martins, A. v. Kerner, Ebermayer und anderen darthun, eine namhafte Steigerung der Bodentemperatur [309], worauf wir schon in einem anderen Zusammenhange aufmerksam zu machen hatten.

d) Temperaturzunahme und Temperaturabnahme mit der Höhe. Wir wissen, dass die Wärme mit der Zunahme der Höhe abnimmt, dass aber die Art der Abnahme in freier Luft eine andere als an einem Bergabhange ist (S. 180). Die Thatsache selbst soll uns an diesem Orte keinen besonderen Stoff mehr zur Erörterung bieten, aber um so mehr interessiert uns jene gar nicht so selten auftretende Anomalie, welche man als Temperaturumkehr (vgl. S. 84) bezeichnet. Dieselbe ist zumeist Folge winterlicher Maxima; sie äussert sich darin, dass beim Emporsteigen die Luft wärmer wird. Die Thäler sind dann kälter als die Abhänge und Gipfel der sie einschliessenden Berge [310], wie denn oft schon in klaren Winternächten die Baumkrone von Frostwirkungen (S. 267) verschont bleibt. Das kann so weit gehen, dass ein Bergsteiger, der bei abscheulichem Nebelwetter seine Wanderung angetreten hatte, oben angelangt durch hellen Sonnenschein und prächtige Aussicht für seine Mühen entschädigt wird. Januar 1887 und Februar 1890 brachten dem Observator des Sonnblickhauses je 16 vollkommen heitere, „alkyonische" (S. 201) Tage [311], und zu gleicher Zeit war es unten in der Rauris nichts weniger als gemütlich, so dass man sich um die vermeintlich durch Stürme bedrohten Hochwächter ernstliche Sorge machte. Einer gründlichen Untersuchung hat das Phänomen der Temperaturumkehr zuerst Hann [312] unterzogen, und swar speziell für die Ostalpen, weil hier die verlässigsten Beobachtungen vorlagen; der Gebirgler ist dort überall mit der Sache wohl vertraut und nimmt auf sie sogar bei der Begründung seiner Wohnplätze Rücksicht [313]. Die theoretischen Vorfragen sind gleichfalls in einigen Aufsätzen von Hann [314] geklärt worden, so dass alsdann eine zusammenfassende Darstellung möglich wurde.

In gewissen, recht abgeschlossenen Thälern Osttirols, Salzburgs und Kärntens, welche durch vorspringende Bergriegel der Luftzirkulation mehr oder weniger entzogen sind, begegnet uns die Erscheinung in ihrer grössten Reinheit. Für das Pusterthal z. B. bietet nachstehende Uebersicht einen guten Anhalt:

Ort	Brunecken	Steinhaus	St. Peter	Prettau
Meereshöhe	825	1050	1360	1440
Temperatur des Januar .	— 6,8 °	— 5,8 °	— 4,6 °	— 5,6 °
Temperatur des Juli . .	18,1	15,9	14,7	13,1
Differenz	24,9	21,7	19,3	18,7

Je höher ein Ort liegt, desto kühler ist es dort in der warmen, desto wärmer in der kalten Jahreszeit. Die Differenz zwischen den Mitteltemperaturen der beiden extremsten Monate schrumpft immer mehr zusammen, und man kann sagen: In Gebieten mit winterlicher Temperaturumkehr bewirkt das Höhenklima eine Annäherung an das Küstenklima, um so entschiedener, je höher ein Ort gelegen ist. Sogar im warmen Etschthale oberhalb der Trientiner Klause macht sich stärkere Erwärmung der Gehänge gegenüber der Sohle bemerkbar [315]. Primäre Ursache der Temperaturumkehr ist stets Luftstagnation. Die durch starke Wärmeabgabe an einen reinen Himmel erkalteten Luftmassen fliessen längs der Abhänge oder — in Terrassenthälern — von Stufe zu Stufe abwärts und bleiben an den tiefsten Stellen in fast vollkommener Ruhe, so dass die

mitgebrachte niedrige Temperatur durch keinen Luftwechsel beseitigt werden kann. Von oben her senkt sich gegen die Bergeshöhen aus der freien Atmosphäre Luft herab, die durch den Prozess des Niedersinkens sich erwärmt, ganz ähnlich, wie wir dies beim Föhn (Kap. V, §. 9) kennen gelernt haben. Für diese Annahme, eine gewisse Analogie mit den Föhnwinden, sprechen zumal einige Beobachtungen A. v. Kerners [316] in der Umgegend von Innsbruck. Wollte man aber fragen, woher es komme, dass die niederströmende Luft von oben schon eine gewisse Wärme mitbringt, so wäre auf Hanns Nachweis (S. 195) einer verhältnismässig höheren Temperierung der barometrischen Elevationen zu verweisen, und über einem Gebirge, welches Temperaturumkehr aufweist, lagert immer ein Maximum, weil es sonst nicht zur Stauung und Stagnation der Luft kommen könnte. Die Temperaturzunahme mit der Höhe erreicht übrigens ihren grössten Wert kurz vor Sonnenaufgang, nachdem die nächtliche Ausstrahlung das ihrige dazu beigetragen hatte, die untersten Lagen der Atmosphäre nach Möglichkeit zu durchkälten.

Es wäre zu wundern, wenn die besprochene Erscheinung in anderen Gebirgen fehlte, aber da ein kräftiges Relief erwähntermassen die Luftansammlung begünstigt, so darf man erwarten, dass zumal im Mittelgebirge die Temperaturzunahme nach oben sich in mässigen Grenzen hält. Ein paar Belege mögen für den allgemein-geographischen Charakter der Temperaturumkehr angeführt werden. Nach Cantoni sind im Pothale die höher gelegenen Orte durch eine besonders milde Wintertemperatur ausgezeichnet [317]. Für den Thüringerwald können wir uns auf die Beobachtungen von Assmann [318] und Lehmann [319], für den Odenwald auf diejenige von Greim [320] berufen, welch letzterer einige frappierend starke Maximalinversionen (einmal fast 10° zwischen dem Felsberggipfel und der Rheinebene) verzeichnet. Gerade in Mitteldeutschland können topische Verhältnisse der Umkehr zu einem geradezu alpinen Charakter verhelfen, wie das von Kirchhoff [321] geschilderte Beispiel Erfurts zeigt. Die Lage dieser sommerwarmen Gartenstadt in der tief eingesenkten Gera-Unstrut-Mulde bedingt starke Winterkälten, weil die unter der Herrschaft einer Antizyklone von den Höhen des Thüringerwaldes langsam abfliessende Luft sich über der Stadt zu einem „See kalter Luft“ aufstaut, der zumal dann, wenn tiefer Schnee den Boden verhüllt (S. 255), wochenlang nicht weichen will; am 21. Januar 1885 stand auf dem Inselsberge (914 m) das Thermometer auf -5°, in Erfurt (200 m) auf -23°! Natürlich bleiben auch die böhmischen Grenzgebirge nicht zurück. „Nicht selten,“ sagt Partsch [322], „gerade bei strenger Kälte, tritt eine förmliche Umkehrung des Wärmeunterschiedes zwischen Thal und Berg vom Bober bis hinauf zur Koppe ein.“ Die Rheinpfalz zerfällt in einen gebirgigen und in einen ebenen Teil; da der letztere dem Luftaustausche kein Hindernis darbietet, so tritt an den Abhängen des Hardtgebirges unsere Erscheinung nur gelegentlich ein, aber im Berglande bildet sie die Regel. Grünstadt (167 m), Kusel (226 m) und Kaiserslautern (242 m) weisen nach W. Goetz [323] Januarmittel von $-0{,}5^{\circ}$, $-0{,}4^{\circ}$ und $-0{,}2^{\circ}$ auf. Erwähnt sei auch noch, dass die Frage der Temperaturumkehr nach ihrer geographischen wie nach ihrer physikalischen Seite in einer ganzen Anzahl von Abhandlungen Prestels [324] gewürdigt worden ist. Als Orte abnormer vertikaler Temperaturveränderung im einen und im anderen Sinne werden von Woeikow [325] der schottische Ben Nevis und der Berg namhaft gemacht, aus welchem wesentlich die Inselkolonie Honkong besteht.

Beobachtungen über die Temperaturzunahme mit der Höhe in der freien Atmosphäre gibt es begreiflicherweise erst in geringerer Menge. Doch steht es fest, dass auch in den wärmeren Jahreszeiten höhere mit niedrigerer Temperaturschichtung abwechselt. Die am 8. Juli 1893 von Sohncke und Finsterwalder ausgeführte nächtliche Ballonfahrt gab hiefür sichere Kennzeichen [326]. Die etwa 150 m mächtige Bodenschicht hatte 12 bis $13{,}5^{\circ}$ Wärme; ihr schloss sich eine dünne Zwischenschicht von rasch zunehmender Temperatur (bis $17{,}8^{\circ}$) an, und eben diese blieb sodann durch eine über 300 m dicke Lage konstant, worauf dann wieder eine langsame Wärmeabnahme eintrat. Die vertikale Temperaturverteilung war durch das Vorwalten aufsteigender Strömungen in den unteren und absteigender Strömungen in den oberen Regionen bedingt.

e) **Veränderung des Temperaturganges.** Als Norm kann gelten, dass Oertlichkeiten in grösserem Abstande von der Meeresfläche einen anderen Tagesgang der Wärme erkennen lassen, als solche in geringerem Abstande. Es gilt dies auch für den Jahresgang, wie wir vorhin erst an einem ostalpinen Falle gezeigt haben,

indessen sind die gestaltlichen Veränderungen der Tageskurve die mehr in die Augen fallenden. Freilich gibt die Verschiedenheit der absoluten Höhe noch keine Entscheidung, sondern es will auch der oroplastische Charakter der Umgebung in Betracht gezogen sein. In welcher Art, geht aus den von Woeikow [327] aufgestellten Thesen hervor, welche wir nachstehend wiedergeben. Konvexe Oberflächen (Hügel, Berge) bilden eine Ursache, durch welche die Tagesamplitude der Temperatur verkleinert wird, und zwar um so mehr, je grösser das Verhältnis ist, in welchem die vertikale Dimension zur horizontalen steht; konkave Oberflächen (Thäler, Mulden) vergrössern die Tagesamplitude, aber nur bis zu einem gewissen Verhältnis der vertikalen zur horizontalen Dimension; als normal im Verhältnis zur Tagesamplitude kann eine ganz ebene Oberfläche (Hochplateau) gelten. In Hochthälern fällt der tägliche Wärmesprung ganz besonders gross aus [328]. — Auch die Termine des Eintretens von täglichem Maximum und Minimum verschieben sich zeitlich; auf isolierten Hochgipfeln entschiedener, als in Thälern oder auf flachen Gebirgsrücken. Für den Obir in Kärnten, der ja (S. 83) durch eine meteorologische Hochstation gekrönt ist, hat Pernter [329] den Sachverhalt ausgemittelt. Im Winter erreicht die Tagestemperatur mit 0,9° schon um 2^h, im Hochsommer mit 10,9° erst um 4^h nachmittags ihren höchsten Stand; an der Verspätung gegen Klagenfurt ist auch die langsame Zerstreuung des Nebels schuld, welcher sich über dem Drauthale erst um die Mittagsstunde ganz verliert.

f) **Gebirge, Feuchtigkeit und Niederschläge.** Aus der stetigen Abnahme der absoluten Feuchtigkeit mit der Höhe ist zu schliessen, dass man beim Bergsteigen ziemlich rasch in wasserdampfarme Luftregionen kommt. Die von Hann [330] aufgestellte Formel besagt, dass, wenn e_0 die Dampfspannung im Meeresniveau, e_h diejenige in der absoluten Höhe h bedeutet, beide Grössen durch die Gleichung (dekadische Logarithmen)

$$\log (e_0 : e_h) = h : 6500$$

zusammenhängen; eine Relation, welche die oben genannte Ballonfahrt im wesentlichen bestätigen konnte [331]. Demzufolge hat jemand, der einen 2000 m hohen Berg bestieg, schon die halbe Wasserdampfmenge der Atmosphäre unter sich. Die relative Feuchtigkeit verhält sich der Meereshöhe gegenüber weit neutraler. Das Höhenklima unterscheidet sich vom Tiefenklima insofern, als der Feuchtigkeitsgrad rascher wechselt und leichter ungewöhnliche Werte annimmt [332]; auf Sättigung mit Dampf folgt ziemlich unvermittelt grosse Trockenheit, weil eben auch auf- und absteigende Luftbewegung sich häufig ablösen. Die Bewölkungsverhältnisse halten sich an keine leicht zu formulierende Regel. Königs Untersuchungen (S. 278) machen es sehr wahrscheinlich, dass während eines grösseren Teiles des Jahres die Sonnenscheindauer mit der Erhebung abnimmt, dass sie aber im Winter zunimmt [333], und bei den Gipfelstationen ist ein doppeltes jährliches Maximum unverkennbar [334]. Für die Evaporationskraft (S. 254) ist nicht die relative Feuchtigkeit allein massgebend, sondern es wird deren Mass auch durch den niedrigeren Luftdruck und die mit schönem Wetter verbundene erhöhte Lufttrockenheit bedingt. So geschieht es, dass unter der Vorherrschaft des Höhenklimas Verwesung organischer Substanzen hintangehalten, Austrocknung oder Mumifizierung begünstigt wird. Beweisend hiefür ist das zu trauriger Berühmtheit gelangte Leichengewölbe des St. Bernhard-Hospizes [335], in welchem menschliche Kadaver noch Jahre nach dem Tode sich fast unverändert erhalten, obwohl daselbst, bei einer durchschnittlichen jährlichen Niederschlagsmenge von 1120 mm, der Schnee 8—9 Monate liegen zu bleiben pflegt.

An allen jenen Gebirgen, deren Richtung mit derjenigen feuchter Winde einen steileren Winkel einschliesst, unterscheidet man eine Regenseite (Luvseite) und eine trockene Seite (Leeseite). Im deutschen Mittelgebirge lässt sich, wie Assmann [336] dargelegt hat, dieser Gegensatz sehr deutlich unterscheiden. Die den Meereswinden unmittelbar ausgesetzte Gebirgswestküste von Norwegen hat 1000—1900 mm Regenfall, der sanfte Abfall gegen die Fjelds im Inneren nur 50—60 mm [337]. Wohl der merkwürdigste Fall von meteorischer Verschiedenheit tritt uns jedoch nach Dutton und Hann auf den Sandwich-Inseln entgegen [338], denn in fast minimalem Abstande finden sich dort die feuchtesten Stellen, die wir so ziemlich überhaupt auf der Erde kennen, und eigentliche Wüsten vor. Die Regenbildung ist einleuchtend, wenn man bedenkt, dass die mit Wasser-

dampf beladene Luft an den Gebirgsflanken zum Aufsteigen genötigt wird, dadurch in Regionen von niedrigerer Temperatur gelangt und so mehr und mehr dem Sättigungszustande sich nähert, nach dessen Ueberschreitung Koagulation und Regenfall eintreten muss. Verhält es sich so, dann ist nichts anderes zu erwarten, als dass schon die Annäherung ans Gebirge eine Zunahme der Niederschläge bedingen muss. Aus genauen Regenkarten eines bergigen Landes, wie eine solche, gerade mit Rücksicht auf diese Frage, von Ferrari [339] gezeichnet worden ist, geht die Richtigkeit obiger Behauptung direkt hervor. In Böhmen, dessen Regenverhältnisse Studnička [340] ausführlich behandelte, hat man folgende, ebenfalls zur Erhärtung des Gesagten dienende Zahlen ermittelt: für mittlere Höhen von resp. 260, 450, 640, 870 m ist die durchschnittliche Regenmenge durch 60, 65, 81 und 103 cm gegeben. Isohyëtenkarten (vgl. S. 70) haben immer grosse Aehnlichkeit mit Höhenschichtenkarten [341]. Denn nicht nur die Absoluthöhe, sondern auch das Oberflächenmodell macht sich als einflussreicher Faktor bemerkbar. Man hat versucht, die Abhängigkeit der Jahressumme des Regenfalles für ein enger begrenztes Flächengebiet durch die mittlere Seehöhe und den mittleren Böschungswinkel darzustellen, und das Gelingen des Versuches ist immerhin ein solches, dass es zu weiteren Bemühungen anregt. Die von Riggenbach angegebene, von R. Huber einlässlich erprobte Formel [342] scheint eine Gewähr dafür zu bieten, dass der Einfluss der Böschung vor dem der Meereshöhe vorwiegt. Es würde sich verlohnen, das Walten eines ähnlichen Gesetzes etwa an der musterhaft genauen ombrometrischen Karte der Provinz Schlesien zu erforschen, welche wir von Partsch [343] erhalten haben.

Mit zunehmender Höhe nimmt auch der Regenfall zu, jedoch nur bis zu einer gewissen Grenze. Da nicht alle Gebirge hoch genug sind, um diese mit dem Gesamtklima wechselnde Linie zu erreichen, so kann man oft, z. B. an den deutschen Mittelgebirgen, die Erscheinung selbst nicht kontrollieren, aber in diesem Falle tritt eine andere sozusagen subsidiär auf. Der Niederschlag wächst nämlich im Winterhalbjahr stärker, als im Sommerhalbjahr, und so gibt es auch in gar manchem niedrigerem Gebirge eine Scheidelinie, die nämlich, von welcher an nach aufwärts die Winterregen häufiger als die Sommerregen sind. Letztere Grenze wird von Supan [344] treffend als Umkehrungsniveau bezeichnet. — In den vorderindischen Ghats ist nach Sykes die Grenzfläche — oder wohl auch Grenzzone — des Maximalniederschlages bei 1400 m, in den javanischen Gebirgen nach Junghuhn bei 1000 m anzusetzen. In den himmelanstrebenden Gebirgen Zentralasiens gilt ein Hochland von 3400—3700 m Seehöhe [345], wie durch Sjewjerzows Reise [346] erkundet ward, als ein besonders geeigneter Winteraufenthalt, denn bis zu dieser Höhe reicht der tiefer unten massige Schneefall nur ausnahmsweise noch herauf. In den Nordalpen, und wahrscheinlich auch anderswo, verschiebt sich der Gürtel stärksten Niederschlages mit den Jahreszeiten, wie dies für ersteres Gebirge Erk [347] nachwies. Dass durch das Vorhandensein eines mächtigen Gebirgswalles mitunter Gegenden, die zur grössten Trockenheit verurteilt erscheinen, ergiebiger Befeuchtung teilhaftig werden können, ersehen wir aus Blanfords schöner Abhandlung [348] über die Rolle, welche beim Entstehen der nordindischen Regen der Himálaya zu spielen berufen ist.

Selbstverständlich treten auch in der Pflanzenbesiedlung der Gebirgsabhänge neben der Temperaturverteilung nicht minder die Niederschlagsverhältnisse in Konkurrenz. Die von Ratzel [349] selbst oder von seiner Schule [350] ausgegangenen Arbeiten gewähren in dieser Hinsicht willkommenen Aufschluss, der natürlich in erster Linie der Pflanzengeographie, mittelbar aber doch auch der Klimatologie zu gute kommt.

g) Gebirge als Klima- und Wetterscheiden. Von höheren Längsgebirgen kann man durchgängig aussagen, dass sie ein Hemmnis des Luftaustausches bilden [351]; natürlich allgemein nur dann, wenn sie nicht durch Transversalthäler durchfurcht werden. Denn letztere gewähren stets einen kräftigen Luftdurchzug, gerade wie sich auch in einem Tunnel stets eine natürliche Ventilation einstellt [352]. Selbst dann, wenn sich in dem Querspalte eine höhere Thalwasserscheide erhebt, wird der Luftzug nicht aufgehoben; für den Brenner, dessen Passhöhe doch immer 1362 m beträgt, hat dies Penck [353] gezeigt, und wir wissen ja auch vom Falle des Maloja (S. 198), wie leicht Gebirgsriegel von den Winden überweht werden. Aber selbstverständlich kann der Umstand, dass am Ausgange des Querthales die Temperatur grössere Sprünge macht,

als sie in einigem Abstande von der Pforte zu finden sind, nur die Regel bestätigen. Jeder, der einmal die Alpen auf einem der gangbaren Pässe überschritt, weiss aus Erfahrung, dass wenige Stunden ausreichen, um sich aus dem mitteleuropäischen in ein südliches Klima zu versetzen. Gefühl, Himmelsfärbung, vor allem aber ein Blick auf die Pflanzenwelt überzeugen den Wanderer, dass er eine Klimascheide hinter sich hat. Trotz der Bora hat die Küste Dalmatiens ein mildes Klima, während drüben in Bosnien und Montenegro ein scharf ausgesprochenes Kontinentalklima das Regiment führt; Lussin piccolo besitzt ein wertvolles Gärtchen exotischer Pflanzen, weil das Eiland ziemlich geschützt gegen jenen schlimmen Fallwind (Kap. VI, §. 10) liegt, wogegen freilich das benachbarte Arbe zwar treffliche Weine, aber keine Südfrüchte hervorbringt, weil eben, nach Frischaufs Ansicht [354], der Bergschutz gegen die Bora fehlt. Wir haben hier Fälle genannt, in denen die Gebirge das Klima eines Landstriches verbessern; es kann aber auch das Gegenteil eintreten, denn Woeikow [355] führt die Entstehung der ungeheuren Winterkälte Ostsibiriens (S. 274) grossenteils auf die Gebirgsumrandung zurück, welche den Abfluss der erkälteten Luft verhindert. Nur an einer Stelle findet sie eine schmale Lücke, und indem ein kleiner Teil der über dem Kältezentrum lagernden Luftmasse seinen Weg durch dieses Thor findet, wirkt die mitgebrachte Kälte noch derart auf den unter 43° 7′ n. Br. (südlicher als Florenz!) gelegenen Seehafen Wladiwostok, dass derselbe mehrere Monde im Jahre unbrauchbar für die Schifffahrt wird. — Die Breite des Striches, für dessen Bereich die Gebirge ihre Eigenschaft als Klimascheiden offenbaren, ist keine sehr grosse. So entfaltet sich das subtropische Pflanzenleben Italiens mit voller Freiheit erst im Süden der Halbinsel, und nur an den lombardischen Seen und an der ligurischen Riviera erhält der Nordländer einen Vorgeschmack von dem, was ihn später erwartet, weil hier der Schutz der eigentlichen Alpen, dort der Schutz der vereinigten Seealpen und Apenninen ausgiebig genug sich bethätigen kann. Der Oelbaum [356] gedeiht, wiewohl nicht im vollen Wuchse, im südtirolischen Sarcathale und am Nordrande des Garda-Sees (Torbole), und dann begegnet man ihm erst wieder auf Korsika, in Umbrien und, in typischer Entwickelung, auf der Insel Korfu.

Die inhaltlich sehr verschiedenen Angaben dieses Paragraphen haben das miteinander gemein, uns darzuthun, wie ungemein verschieden die klimatischen Zustände zweier Gegenden von sonst völlig übereinstimmender geographischer Lage lediglich deshalb sein können, weil die eine, ohne namhaftes Relief, auch keinen Anlass zur Herausbildung individueller klimatologischer Züge, bietet, während die andere auf Wärme-, Wind- und Regenverteilung kraft ihres orographischen Charakters Einfluss übt. Mag auch für Den, der sein Augenmerk nur auf das Grosse lenkt, der Gegensatz zwischen Land- und Seeklima als der einschneidendere erscheinen, so gewinnt doch der Gegensatz zwischen Tiefen- und Höhenklima eine um so höhere Bedeutung beim Studium der Klimabeschaffenheit beschränkterer Klimagebiete. So kam es denn auch, dass diese Seite der Klimakunde sich der denkenden Menschheit besonders frühzeitig aufdrängt, wie dies K. J. Neumanns [357] Interpretation der Diaphragmenlehre Strabons (I, S. 6) bezeugen kann. Humboldts [358] und Wahlenbergs [359] Arbeiten über die vertikale Verbreitung der einzelnen Pflanzenformen haben auch der hier behandelten Disziplin neue Wege gewiesen, und wenn Goethe, wie neuerdings erst von Ruge [360] erinnert wurde, das graphische Prinzip als der Erste auch für diese geographische Aufgabe nutzbar gemacht hat, so ist für ihn weniger ein botanisches als ein klimatologisches Interesse massgebend gewesen.

§. 12. **Der Wald in seinen Beziehungen zum Klima.** Die Frage, welche uns ganz zuletzt beschäftigte, liesse sich auch in der Form stellen (§. 5): In welcher Art wird das vegetative Leben vom Klima beein-

flusst? Allein es lässt sich diese Frage auch umkehren, so dass gewissermassen die Pflanzenwelt die aktive und das Klima die passive Rolle übertragen erhält. Es kann nämlich vor allem keinem Zweifel unterliegen, dass bewaldete Territorien klimatisch von waldlosen, sonst analog beschaffenen Territorien abweichen, und es gilt nun, Art und Stärke des unzweifelhaft vorhandenen Einflusses schärfer zu bestimmen. Das Werk von Ebermayer [361], welches, nachdem zuvor Moreau de Jonnes und Lange mit minder zureichenden Hilfsmitteln eine Lösung zu erbringen versucht hatten [362], erstmalig als systematische Darstellung aller einschlägigen Beobachtungen und Theorien auftrat, behauptet noch jetzt eine massgebende Stellung; daneben sind die hieher gehörigen Abschnitte der Werke von Hann [363], Woeikow [364] und Supan [365] sehr lesenswert.

Eine dunkle Vorstellung, dass das Vernichten der Wälder die Fruchtbarkeit eines Landes gefährde, war, wie wir bei Neumann-Partsch [366] lesen, doch schon den Alten bekannt. Platon klagt über das „Altern der Berge“, und in einer Komödie des Eupolis treten die stets an der Waldverwüstung vorwiegend beteiligten Ziegen als Selbstankläger auf, weil sie es seien, welche die jungen Anpflanzungen zerstörten. Wenn im Mittelalter einmal rationellere Waldbehandlung vorkommt, so wie sie Burggrafen und Ratsherren von Nürnberg ihrem berühmten „Reichswalde“ angedeihen liessen [367], so war das eine Ausnahme, und mehrenteils schwendete man sinnlos in den Waldbestand hinein, so dass schon Luther dereinstigen Holzmangel weissagte [368]. Höchstens im Hochgebirge, wo es u. a. den Charakter der sogenannten Bannwälder, gegen Lawinengefahr, zu wahren galt, machte man einige Anstrengungen zu gesetzlicher Waldpflege, wie dies aus einem von E. Richter [369] erhaltenen Dokumente ersehen werden kann. Erst in der zweiten Hälfte des XVIII. Jahrhunderts aber trat der empirische Forstschutz in ein mehr wissenschaftliches Stadium ein, und erst um die Mitte des XIX. waren die Unterlagen zur Begründung einer eigentlichen Forstmeteorologie zur Stelle. In Oesterreich-Ungarn ward ein Netz forstlich-meteorologischer Stationen geschaffen, für welches Lorenz v. Liburnau [370] die Koordinierung von Radialstationen — im Walde — und Parallelstationen — im angrenzenden Gelände — in Vorschlag brachte; in den nordbayerischen Gebirgen entstand eine treffliche Organisation unter der Leitung Ebermayers [371]; Preussen und die Reichslande erhielten ihren forstlich-meteorologischen Dienst durch Müttrich [372], der auch über die Ergebnisse dieser Beobachtungen fortlaufend berichtet. Ihm [373] verdanken wir auch nähere Bekanntschaft mit den entsprechenden Einrichtungen des Königreiches Schweden.

Das Verfahren, nach welchem wir die Bedeutung des Waldes für das Klima schildern, wird am besten demjenigen nachgebildet, dessen wir uns bei der Charakteristik des Höhenklimas (§. 10) bedienten. Wir untersuchen also die Beziehungen, welche die Bewaldung mit den einzelnen klimatischen Faktoren verbinden. Aus diesen Einzelbetrachtungen muss, falls dieselben positive Thatsachen ergeben, ein Gesamturteil zu schöpfen sein, und es wird sich auch zeigen, dass dieses Urteil sich in einer recht prägnanten Form fassen lässt.

a) **Temperatur.** Eine Schrift von Nördlinger [374] erörtert, auf Grund forstlicher Beobachtungen in Württemberg, den Sachverhalt sehr umsichtig, und auch Ebermayer [375] ist mit neuen Erfahrungen darüber hervorgetreten. Theoretisch liegt der Schluss nahe, dass zwischen der bei Tage wärmeren Luft der Ebene ausserhalb und der kühleren Luft des Waldes sich ein ähnliches, an eine Periode von Halbtagslänge gebundenes Wechselspiel der atmosphärischen Strömungen einstellen werde, wie wir es etwa bei den Land- und Seewinden (S. 195) kennen zu lernen hatten. Denn dass es Tags über im Forste weniger warm ist, und dass der Temperaturgegensatz zwischen Waldluft und Freilandluft im Sommer verhältnismässig gross, im Winter verhältnismässig klein ist, wissen wir auch ohne

Thermometer; eine exakte Bestätigung hat Hann [376] geliefert, der auch feststellte, dass der Einfluss des Waldes auf die Erniedrigung der Lufttemperatur abends und am frühen Morgen sich am stärksten erweist. Nach Fautrats Messungen [377] wären die Temperaturdepressionen, welche sich oberhalb der Baumkronen grösserer Waldkomplexe, verglichen mit der äusseren Luft, ergeben, durch diese Zahlen dargestellt: Mai 1,20°; Juni 1,75°; Juli 1,95°; August 1,53°. Jedenfalls sind aber die Modifikationen, welche durch das Vorhandensein auch grösserer Waldparzellen in der Wärmeverteilung benachbarter Bezirke, selbst wenn dieselben nicht weit entfernt sind, hervorgebracht werden, nicht beträchtlich; darin stimmen Nördlinger und Hamberg überein, dessen klimatologische Untersuchungen [378] über Schweden gerade auch diesen Punkt erfreulich geklärt haben. Von einer Fernewirkung des Waldes, die sich thermisch geltend machte, kann nicht die Rede sein; nur jene Landstreifen, welche in Lee vom Walde, man möchte sagen, in dessen Windschatten, sich befinden, werden in ihrer Temperierung einigermassen beeinflusst [379]. Hingegen ist ganz unverkennbar der Einfluss des Waldes auf die Temperaturschwankungen, wie dies, mit Bezugnahme auf die Resultate der österreichischen und deutschen Waldstationen, von Eckert [380] und Müttrich [381] gezeigt werden konnte. Je deutlicher eine solche Station an sich schon das ozeanische Klima ausgeprägt zeigt, um so geringer werden die Unterschiede des Temperaturmaximums und Temperaturminimums [382], weil eben in gewisser Hinsicht zwei Kräfte im gleichen Sinne wirken, sich also verstärken. Doch macht auch die Beschaffenheit des Waldes sich geltend, denn bei Nadelholzwaldungen ist hinsichtlich der Amplitude der Wärmeschwankung zwischen Fuss und Spitze kein beträchtlicher Gegensatz zu bemerken, aber in Buchenbeständen ist es, wenigstens in der warmen Jahreszeit, gar nicht gleichgültig, ob das Thermometer nahe der Wurzel oder nahe den Baumkronen angebracht ist [383]. Die Differenz kann beinahe bis auf einen vollen Grad ansteigen. — Von J. Schuberts Untersuchungen [384] über Temperatur des Waldbodens haben wir bereits (I, S. 331) zu handeln gehabt; sie konstatieren, dass die Temperatur des geschützten Bodens im Sommer niedriger, im Winter höher als die des ungeschützten Freilandbodens ist; allerdings erweist sich der Schutz gegen die Sommerwärme weit kräftiger, während das Eindringen der Winterkälte nicht gleich entschieden hintangehalten wird.

b) **Luftfeuchtigkeit.** Die absolute Feuchtigkeit wird im und nahe am Walde stets etwas grösser als in einiger Entfernung davon gefunden, und die relative Feuchtigkeit erreicht, zumal in hellen Nächten, in der unmittelbaren Umgebung des Waldes relativ hohe Beträge. Dies folgert Ebermayer [385] hauptsächlich aus den österreichischen Beobachtungsregistern, indem er jedoch davor warnt, die Bedeutung des Waldes als Feuchtigkeitsbildner allzu hoch zu veranschlagen. Zweifellos ist die Verdunstung im Walde eine verhältnismässig geringe gegenüber derjenigen im baumlosen Terrain, wenn auch Clavés [386] Schätzung, erstere sei fünfmal geringer, entschieden zu weit geht; nach Ebermayer (s. o.) wäre die Zahl 5 durch $2^1/_2$ bis 3 zu ersetzen. Ihm zufolge vermindert der Wald allein ohne Streudecke die normale Verdunstungsgrösse um 62%, die Streudecke für sich allein um 22%, so dass beiden zusammen eine Totalwirkung zuzuschreiben ist, welche jenen Betrag um 84% herabsetzt. Selbstredend ist auch da wieder der Baumart besonders zu gedenken. Fautrat [387], der die Koerzitivkräfte der Nadeln und der best absorbierenden Blätter gegenüber dem atmosphärischen Wasserdampfe etwa wie 5 : 4 schätzt, will wahrgenommen haben, dass die Dampfhülle um einen Nadelholzwald herum sich deutlicher als um einen Laubholzwald herum abzeichne. Es ist zu wünschen, dass genaue Messungen über Evaporation der Blätter, wie solche F. Pfaff [388] mit grösstem Fleisse angestellt hat, für solche Abschätzungen mit der Zeit eine feste Grundlage legen werden. Jedenfalls dürfen wir aber daran festhalten: Ein grösserer Wald kann als ein Feuchtigkeitsreservoir betrachtet werden.

c) **Regenfall.** Allerdings ist damit die Frage noch nicht beantwortet, ob die Bewaldung einen direkten Einfluss auf die Niederschlagshäufigkeit und Niederschlagsmenge einer Gegend ausübt. Noch bis vor nicht sehr langer Zeit ging, wenigstens in Deutschland, die Ansicht dahin, dass eine Zunahme des Regens durch den Wald nicht bewirkt werde. Man bekannte sich etwa zu folgendem Satze [389]: „Die Aufforstung oder Entwaldung eines Klimas, ebenso wie eine anderweitige Kultivierung desselben, hat keinen unzweifelhaft nachweisbaren Einfluss auf die mittlere

jährliche Niederschlagssumme, wohl aber dürften die Wälder, wie kultivierte Ländereien, eine günstigere Oekonomie der Niederschlagsverhältnisse bedingen." Doch wiesen schon die Ermittelungen Ebermayers (s. o.) im Spessart und im bayerisch-böhmischen Grenzgebirge darauf hin, dass mit der Zunahme der Walddichte, wenn dieser Ausdruck gestattet ist, auch die Regenmenge sich erhöht. Rohrbrunn liegt im Spessart, Duschlberg in dem teilweise noch mit Urwald bedeckten Böhmerwald; vergleicht man die ombrischen Jahressummen s_r und s_d dieser Orte mit der Jahressumme s_a der in freier Flussebene gelegenen Stadt Aschaffenburg, so hat man: s_d (= 1226,88 mm) $>$ s_r (= 1052,71 mm) $>$ s_a (= 655,55 mm). Diese Ziffern sprechen eine beredte Sprache, denn wenn auch Duschlberg höher als Rohrbrunn und dieses wieder höher als das wenig entfernte Aschaffenburg liegt, wenn also auch eine partielle Uebereinanderlagerung zweier verschiedener Erscheinungen ursprünglich zugestanden werden muss, so ist doch die Differenz der Meereshöhen viel zu unbedeutend, um derartige Unterschiede der Niederschlagsmengen zu rechtfertigen. Positiv entschieden haben unsere Frage die umfassenden Untersuchungen von Woeikow [390], denen die Arbeiten von Blanford [391] und Brandis [392] zur willkommenen Bestätigung dienen. In einem weiten, mehr denn 200 000 qkm umspannenden Gebiete der indischen Zentralprovinzen, welches früher völlig steril war, hat die indobritische Regierung grossartige Anpflanzungen durchführen lassen, und damit war, da es auch früher dort schon meteorologische Observatorien gab, eine nicht leicht wiederzufindende Gelegenheit zu Vergleichen zwischen sonst und jetzt geboten. Und da fand sich, dass, während im Zeitraum 1869—83 die Regenmengen Indiens sich sehr konstant erwiesen, über dem neu bewaldeten Gebiete eine kontinuierliche Vermehrung der Niederschläge eingetreten war. Europa kennt Unternehmungen so grossartigen Stiles nicht, aber im bescheidenerem Masstabe kommt doch Aehnliches auch bei uns vor, und Müttrich [393] konnte den Beweis führen, dass ein kahlgeschlagenes Forstrevier der Lüneburger Heide, nachdem es wieder zum Walde gemacht war, Regenfrequenz und Regenmenge der nächsten Umgebung vergrösserte. In Palästina, dessen südlicher Teil ganz waldentblösst ist, während Galiläa schöne Bergwälder besitzt, kann man sich nach Anderlind [394] augenfällig überzeugen, wie die Walddecke eines Landes wirkt. Auch ein kleiner Forst kann den Umwohnern Nutzen bringen, indem er die atmosphärische Feuchtigkeit und deren Abgabe an die Erde regulieren hilft; Kollbach [395] citiert als Beleg hiefür den an sich ganz im Gebiete der Winterregen gelegenen Klosterwald von Bussaco in Portugal. — Es kann diese Kondensationswirkung des Waldes auch nicht Wunder nehmen, wenn man sich daran erinnert, wie die sogenannten Regenbäume der Tropen, z. B. in Peru, derart kondensierend wirken, dass das von ihren Zweigen abfliessende meteorische Wasser den Untergrund in einen kleinen Sumpf zu verwandeln vermag. Rohlfs (s. o.) hat interessante Erfahrungen über die von der Berührung mit dem Grundwasser ausgeschlossenen Wüstenbäume gesammelt, welche, jahrelang des Regens entbehrend, doch mit der Feuchtigkeit auskommen, welche sie indirekt der Atmosphäre entziehen. Jener berühmte Drachenbaum von Orotawa (Tenerife), dessen Humboldt bewundernd gedenkt [396], den aber im Jahre 1868 ein Orkan niederwarf, soll geradezu die Rolle eines lokalen Kondensators gespielt haben. — Das Regenwasser versickert, weil die Verdunstung im Walde sich in engen Grenzen hält, zum grossen Teile im Boden. Ebermayers Versuche [397] belehren uns, dass der Wald geradezu eine drainierende Wirkung ausübt und der Erhaltung einmal vorhandener Quellen entschiedenen Vorschub thut, wenn er auch von sich aus allein keine Quelle zu erzeugen im stande ist.

Nicht vergessen darf auch werden, dass die Art des Niederschlages teilweise vom Walde abhängt. In bewaldetem Lande herrscht eine Neigung zu sanftem Landregen, in waldlosem zu jähem Sturzregen vor; ausgedehntere Abholzung hätte also die Folge, dass, wie es Denza [398], allerdings etwas zu grell, in Worte fasst, Perioden der Dürre mit Perioden der Wolkenbrüche abwechseln. Es wird also durch Baumbestände die Oekonomie der Niederschläge (s. o.) abgeändert. Im waldarmen Griechenland sind mitteleuropäische Regentage mit ihrem gleichförmigen Rieseln kaum bekannt, Regenfluten dafür an der Tagesordnung [399], und diese Wasserströme reissen dann wieder um so tiefere Rinnen in das Erdreich, worauf bereits eine durch Diels [400] uns überlieferte Stelle des Theophrast hinweist. Es besteht offenbar eine unheimliche Zirkularverkettung: Aufforstung würde die Regenbildung

regulieren, aber gerade der Regen, wie er in waldlosen Gebirgsgegenden nun einmal ist, schwemmt unnachsichtlich die dem Boden anvertrauten Pflanzenkeime hinweg. So ist nur natürlich, dass Land- und Forstwirte unaufhörlich darauf dringen, dem „Raubbau" an Waldholz entgegenzuarbeiten und die Aufforstung kräftig in die Hand zu nehmen; wir verweisen auf die bezüglichen Darlegungen von Landolt [401], Angerer [402], Toldt [403]. Oesterreich ist von jeher mit gutem Beispiele vorangegangen und hat z. B. im östlichen Karst, der jetzt wieder hochstämmige Bäume trägt, das Bewundernswerteste geleistet. Auf der Insel St. Helena war die einheimische (Baumfarn-) Flora, wie Hahn [404] meldet, durch die Ziegen (S. 285) grossenteils vernichtet worden; die Luft wurde dann sehr trocken, und erst seitdem europäische Bäume massenhaft angesiedelt wurden, ist die Verteilung der Luftfeuchtigkeit wieder eine viel günstigere geworden.

d) **Zusammensetzung der Luft.** Aus dem Humusreichtum des Waldbodens ist auf höheren Kohlensäuregehalt der Waldluft zu schliessen. Ebermayer [405] fand dies bestätigt; die Luft im Walde enthält fast doppelt so viel CO_2, als die Luft im Freien, aber das gilt zunächst nur für den Sommer. Für die Bodenluft im Walde ist ein umgekehrtes Verhalten zu konstatieren. Die chemische Zusammensetzung der Waldluft trägt, dies betont auch van Bebber [406], nicht wesentlich dazu bei, dieser einen höheren hygienischen Wert zu sichern wohl aber fällt in dieser Beziehung die Reinheit dieser Luft, ihr Befreitsein von Staubteilchen und Mikroorganismen, ins Gewicht (vgl. S. 20). Wir haben dieses Moment in Kap. XI noch näher ins Auge zu fassen.

Damit sind wir denn zu der Möglichkeit gelangt, ein bis zu einem gewissen Grade abschliessendes Gutachten über die klimatische Bedeutung des Waldes abgeben zu können. Eine solche ist unleugbar vorhanden; eine so skeptische Beurteilung, wie seiner Zeit Pfeil [407] wollte, ist heute nicht mehr gestattet. Aber ebenso sehr, ja mit Rücksicht auf andere Strömungen, vielleicht mehr noch muss man sich vor Ueberschätzung des Waldeinflusses in acht nehmen. Was van Bebber [408] in den siebziger Jahren als Hauptinhalt unseres Wissens von dieser Sache hinstellte, ist noch jetzt berechtigt und mag deshalb auch hier in seiner präzisen Fassung eine Stelle finden. Durch den Wald werden, ohne merkliche Aenderung der Mittelwärme, die Temperaturextreme abgestumpft; der Wald trägt zur Vermehrung, mehr noch aber zur Konservierung der Feuchtigkeit bei; der Wald erhöht die Regenwahrscheinlichkeit und auch die Regenmenge, im Waldgebirge allerdings mehr, denn in der Ebene; die Verdunstungsgrösse sinkt im Walde auf einen geringen Betrag herab; der Wald schützt den Quellenbestand und die Grundwasserzirkulation auch in der näheren Umgegend; er behütet vor der Abschwemmung fruchtbarer Erde und vor der Entstehung von Wildbächen; Entwaldung führt zu schrofferem Hervortreten der Extreme, sowie zur sommerlichen Dürre; übertriebene Streufortnahme führt, wenn auch vermindert, wesentlich die gleichen Uebelstände herbei, wie übertriebene Holznutzung oder gar rücksichtsloser Kahlhieb. Kurz zusammengezogen: Grösserer Waldbestand bringt eine Annäherung des örtlichen Klimas an das maritime Klima (S. 272) zuwege, und durch Entwaldung erhält das kontinentale Klima eine schärfere Ausprägung. Trotz alledem erstreckt sich der Einfluss des Waldes nur auf kleine Bezirke, und Supan [409] ist wohl im Rechte mit seinem Ausspruche, dass das Jahresisothermensystem der Erde auch dann kein wesentlich anderes werden würde, wenn sich über Europa und Asien, von Ozean zu Ozean, ein ungeheurer Wald hinzöge.

Eine sehr grosse Anzahl von Zeugnissen, welche den Einfluss von Be- und Entwaldung sicherstellen sollen, wägt Brückner [410] kritisch ab, indem er auch

auf die Beobachtungen Abbays [411] und v. Lendenfelds [412] aufmerksam macht, welche zu der anscheinend paradoxen Erkenntnis geführt zu sein glauben, dass unter Umständen die Waldentblössung den Wasserreichtum eines Landes vermehren könne. Wir gehen darüber rascher hinweg, weil die Frage nach den Klimaschwankungen und Wasserstandsänderungen uns in Kap. IX der gegenwärtigen und in Kap. IV der achten Abteilung in anderem Zusammenhange und unter anderer Beleuchtung entgegentreten wird. Nur ein Moment sei mit Penck [413] noch besonders hervorgehoben. Wenn auch das ebene Landgebiet rings um den Wald durch diesen nur in seinen peripherischen, den Bäumen benachbarten Partien klimatisch beeinflusst wird, so besteht eine recht kräftige Einwirkung doch in der dritten Dimension, im Bereiche der oberhalb des Waldkomplexes ruhenden Luftsäule. Ballonbeobachtungen werden uns hierüber unterrichten und wahrscheinlich darthun, dass (S. 268) die Rolle des Waldes eine derjenigen von Sümpfen, Mooren und Wasserflächen verwandte ist; in ähnlicher Weise könnte ja auch gezeigt werden (S. 227), dass der Gewitterzug sich teilweise nach den Waldungen der Gegenden richtet, auf welche das Sturmfeld sich ausdehnt.

Nur daran sei jetzt schon erinnert, dass alle indirekten Nachweise für den Zusammenhang zwischen Wald und Klima an einer empfindlichen Schwäche leiden; niemand ist in der Lage, eine andere Ursache, welche vielleicht auch eine Veränderung der besonderen Verhältnisse nach sich gezogen hätte, vollkommen auszuschliessen. Wenn z. B. Boussingault [414], der das langsame Sinken des Sees von Valencia in Venezuela zuerst auf Wasserabfluss durch unterirdische Kanäle zurückzuführen geneigt war, sich durch Humboldt [415] zu der Meinung bekehren liess, dass sich infolge Waldabtreibung Empfang durch Regen und Abgabe durch Verdunstung in diesem Falle nicht mehr die Wage hielten, so ist doch zunächst damit nicht die Unzulässigkeit der früheren Erklärungsweise bewiesen, welche ja für verkarstete Gebiete oft genug Platz zu greifen hat. Wirkliche Gewissheit kann uns nur eine stetige Vervollkommnung jenes forstlich-meteorologischen Beobachtungsdienstes gewährleisten, deren Nützlichkeit zum Glücke fast alle Kulturländer begriffen haben.

[1] Hann, Handbuch der Klimatologie, I, Stuttgart 1897, S. 1. — [2] Hellmann, Repertorium der deutschen Meteorologie, Leipzig 1883, Sp. 681. — [3] Günther, Zur geographischen Meteorologie, Lp., XIII, Nr. 11—12. — [4] Hellmann, Sp. 166. — [5] Klauprecht, Die Lehre vom Klima in land- und forstwirtschaftlicher Beziehung, Karlsruhe 1840. — [6] Heyer, Lehrbuch der forstlichen Bodenkunde und Klimatologie, Erlangen 1856. — [7] Mühry, Allgemeine geographische Meteorologie oder Versuch einer systematischen Darstellung eines Systemes der Erd-Meteoration in ihrer klimatischen Bedeutung, Leipzig-Heidelberg 1860. — [8] v. Lorenz-Rothe, Lehrbuch der Klimatologie, Wien 1874. — [9] Woeikow, Die Klimate der Erde, Jena 1887. — [10] De Marchi, Climatologia, Mailand 1890. — [11] Supan, Grundzüge der physischen Erdkunde, Leipzig 1896, I. Abschnitt. — [12] H. Meyer, Anleitung zur Bearbeitung meteorologischer Beobachtungen für die Klimatologie, Berlin 1891. — [13] A. v. Humboldt, Kosmos, I, S. 233. — [14] Ratzel, Anthropogeographie oder Grundzüge der Anwendung der Erdkunde auf die Geschichte, I, Stuttgart 1882, II; ebenda 1891. — [15] Hann, I, S. 94. — [16] Lambert-W. Karsten, Pyrometrie oder vom Mafse des Feuers und der Wärme, Berlin 1779, S. 311. — [17] H. Berger, Die Zonenlehre des Parmenides, S. s. G. W., P. H., 1895, S. 75 ff. — [18] Ebenda, S. 96 ff. — [19] Hann, I, S. 6 ff. — [20] Ebenda, I, S. 86. — [21] Wargentin, Anmerkungen vom schwedischen Klima, A. s. A. W. K., XIX, S. 239 ff. — [22] Supan, Die Temperaturzonen der Erde, P. G. M., XXV, S. 356 ff.; Die Verteilung der jährlichen Wärmeschwankungen auf der Erdoberfläche, Z. w. G., I, S. 141 ff. — [23] Wild, Die Temperaturverhältnisse des russischen Reiches, St. Petersburg 1881; Berghaus-Hann, Atlas der Meteorologie, Gotha 1887, Tab. 1. — [24] Hann, I, S. 13. — [25] Ebenda, I, S. 19. — [26] van Bebber, Darstellung der Verteilung der mittleren Temperaturextreme über Europa, H. E., IV, S. 297 ff.; Die Verteilung der Wärmeextreme über die Erdoberfläche, P. G. M., XXXIX, S. 273 ff.; XL, S. 44. — [27] Hann, I, S. 23. — [28] Perlewitz, Die Häufigkeit bestimmter Temperaturen in Berlin, M. Z., V, S. 230 ff. — [29] Mazelle, Der jährliche und tägliche Gang und die Veränderlichkeit der Lufttemperatur in Triest, Wien 1893; Beitrag zur Bestimmung des täglichen Ganges der Veränderlichkeit der Lufttemperatur, Wien 1895. — [30] H. Meyer, Ueber die Häufigkeit des Vorkommens gegebener Temperaturgruppen in Norddeutschland, M. Z., IV, S. 428 ff. — [31] v. Humboldt, Des lignes isothermes et de la distribution de la chaleur sur le globe, M. P. A., II, S. 462 ff.; A. C. P., V, S. 102 ff.; O. J., 1818, S. 852 ff. — [32] van Bebber, Katechismus der Meteorologie, Leipzig 1893, S. 63 ff. — [33] Hildebrandsson, Ueber die Bewegung der Isothermen im Frühjahre durch den Norden Europas, Z. ö. G. M., XVI, S. 340 ff. — [34] Högbom, Gang der Isothermen im Herbste im Norden Europas, Z. ö. G. M., XIX, S. 113 ff. — [35] Supan, Die mittlere Dauer der Wärmeperioden in Europa, P. G. M., XXXIII, S. 165 ff. — [36] Tümmler, Die mittlere Dauer der Hauptwärmeperioden in Deutschland, Halle a. d. S. 1892. — [37] Dove, Die Monats- und Jahresisothermen in der Polarprojektion, nebst Darstellung ungewöhnlicher Winter durch thermische Isametralen, Berlin 1864. — [38] Spitaler, Ueber die Temperaturanomalien auf der Erdoberfläche, P. G. M., XXXIII, S. 364 ff.; Ueber die Temperaturanomalien auf der Erdoberfläche im Januar und Juli, P. G. M., XXXV, S. 281 ff. — [39] H. Wild, Ueber die Beziehungen zwischen Isobaren und Isoanomalen der Temperatur, M. B. A. J. P., XI, S. 329 ff. — [40] v. Bezold, Die Kälterückfälle im Mai, München 1884. — [41] Dove, Ueber die Rückfälle der Kälte im Mai, A. A. W. B., P. K., 1836, S. 192 ff. — [42] Assmann, Ueber die Eismänner, Z. ö. G. M., XVIII, S. 146 ff. — [43] Billwiller, Die Kälterückfälle im Mai, Z. ö. G. M., XIX, S. 245 ff. — [44] van Bebber, Die gestrengen Herren, Z. ö. G. M., XVIII, S. 145 ff.; Wissenschaftliche Ergebnisse aus den monatlichen Uebersichten der Witterung, Hamburg 1881, S. 32. —

[45] v. Bezold, S. 25. — [46] W. Köppen, Zur Frage der „gestrengen Herren“, Z. ö. G. M., XIX, S. 183 ff. — [47] A. B. C. M. F., IV. — [48] P. P. G. L. H. C., Nr. 10. — [49] Wollny, Eine neue Konstruktion der Bodenthermometer für Tiefen von 0,3 bis 1,8 m, Z. ö. G. M., X, S. 149 ff. — [50] Frölich, Zur Theorie der Erdtemperatur, Z. M. P., VI, S. 129 ff. — [51] Saalschütz, Ueber Wärmeveränderungen in den höheren Erdschichten unter dem Einflusse des nichtperiodischen Temperaturwechsels an der Erdoberfläche, A. N., LVI, Sp. 1 ff.; 160 ff.; 273 ff. — [52] Vincent, La détermination de la température climatologique, Brüssel 1890. — [53] Hann, I, S. 37 ff. — [54] Senebier, Mémoires sur l'influence de la lumière solaire sur les plantes, Genf 1782. — [55] N. T. De Saussure, Recherches chymiques sur la végétation, Paris 1804. — [56] Famintzin, Die Wirkung des Lichtes auf das Ergrünen der Pflanzen, P. B. J., VI, S. 45 ff. — [57] Prillieux, Sur le verdissement des plantes étiolées, C. R., LXIX, S. 1023 ff.; Influence de la lumière bleue sur la production de l'amide dans la chlorophylle, C. R., LXX, S. 521 ff. — [58] Déherain, Sur l'influence qu'exercent divers rayons lumineux sur la décomposition de l'acide carbonique et l'évaporation de l'eau par les feuilles, C. R., LXIX, S. 929. — [59] Griffiths, Investigations on the Influence on certain Rays on Root Absorption and on the Growths of Plants, P. R. S. E., XIV, S. 125 ff. — [60] Wiessner, Photometrische Untersuchungen auf pflanzenphysiologischem Gebiete, S. A. W., M. N., I, 1893, S. 291 ff.; 1895, S. 605 ff. — [61] Leslie, On certain Impressions of Cold transmitted from the higher Atmosphere, with the Description of an Instrument adopted to measure them, T. S. E., VIII, S. 465 ff. — [62] Hann, S. 42. — [63] Hayes-J. E. A. Martin, Das offene Polarmeer, Jena 1868, S. 283, 290. — [64] Frankland, Winter Thermometric Observations in the Alps, P. R. S. L., XXII, S. 317 ff. — [65] Waters, Klimatologische Notizen über den Winter im Hochgebirge, Basel 1871. — [66] Ch. Dufour, Résumé des observations météorologiques faites à Morges pendant les années 1850—54, A. s. p. n., VII, S. 209 ff. — [67] Frankland, Climate in Town and Country, N., XXVI, S. 380 ff. — [68] Hann, I, S. 56. — [69] Ebenda, S. 59 ff. — [70] G. Schott, Wissenschaftliche Ergebnisse einer Forschungsreise zur See, P. G. M., E. H. Nr. 109, S. 122 ff. — [71] W. Krebs, Arktoide und tropoide Formen der Produktion, Z. w. G., VIII, S. 80 ff. — [72] W. Krebs, Klimatische Faktoren der Weltwirtschaft, mit speziellem Hinblick auf Japan und Deutsch-Ostafrika, A., LXV, S. 465 ff., 482 ff. — [73] Hann, I, S. 65. — [74] W. Köppen, Zur Charakteristik der Regen in Nordwesteuropa und Nordamerika, M. Z., II, S. 10 ff. — [75] Woeikow, Die Klimate etc., I, S. 32. — [76] Hann, I, S. 68. — [77] H. Meyer, Die Niederschlagsverhältnisse Göttingens, M. Z., IV, S. 415 ff. — [78] Wollny, Untersuchungen über das Verhalten der atmosphärischen Niederschläge zur Pflanze und zum Boden, IV, F. A., XIV, S. 143. — [79] Weilenmann, Berechnung der Grösse der Verdunstung aus den meteorologischen Faktoren, Z. ö. G. M., XII, S. 268 ff., 368 ff. — [80] W. Ule, Zur Beurteilung der Evaporationskraft eines Klimas, M. Z., VIII, S. 91 ff. — [81] Hann, I, S. 74. — [82] Ebenda, I, S. 78. — [83] Thomas, Beiträge zur allgemeinen Klimatologie, Erlangen 1873, S. 9 ff. — [84] Woeikow, Der Einfluss einer Schneedecke auf Boden, Klima und Wetter, Wien-Olmütz 1889; P. G. A., III, 3. Heft. — [85] Ebenda, S. 53. — [86] Ebenda, S. 70 ff., 85 ff. — [87] Woeikow, Die Klimate etc., I, S. 56 ff. — [88] Billwiller, Einfluss der Schneedecke auf die Temperatur der untersten Luftschichten, Z. ö. G. M., XVII, S. 98 ff. — [89] Rykatschew, Ueber den Auf- und Zugang der Gewässer des russischen Reiches, R. M., 2. Suppl.-Bd., St. Petersburg 1887. — [90] Hildebrandsson-Rundlund, Prise et débacle des lacs en Suède, automne 1871 — printemps 1877, Upsala 1879; Z. ö. G. M., XVI, L. B., S. 265 ff. — [91] Hällström, De tempore regelationis et congelationis aquarum fluminis Kymo, A. S. S. F., I, S. 387 ff. — [92] Hildebrandsson, Die Eisverhältnisse in Schweden während des Winters 1870—71, Z. ö. G. M., VII, L. B., S. 287 ff., 303 ff. — [93] Rykatschew, S. 45. — [94] Morren-Deville, Observations sur les phénomènes périodiques faites au jardin botanique de Liège pendant l'année 1841, Lüttich 1842. — [95] Ihne, Geschichte der pflanzenphänologischen Beobachtungen in Europa, Giessen 1884. — [96] Günther, Die Phänologie, ein Grenzgebiet zwischen Biologie und Klimakunde, Münster i. W. 1895; N. O., XLI, S. 1 ff., 71 ff., 139 ff. — [97] Linné, Philosophia Botanica, Stockholm 1751, S. 270 ff. — [98] Ebenda, S. 276. — [99] Ihne, S. 6 ff. — [100] Ihne, Die ältesten pflanzenphänologischen Beobachtungen in Deutschland, B. O. G. N. H., XXVIII; Reyger, Die um Danzig wild wachsenden Pflanzen nach ihren Geschlechtsteilen geordnet und beschrieben, Danzig 1768, S. 364 ff. — [101] E. Schumann, Geschichte der Naturforschenden Gesellschaft in Danzig 1743—1892, Danzig 1893, S. 15. — [102] G. H. Rosenthal, Versuche, die zum Wachstum der Pflanze benötigte Wärme zu bestimmen, Erfurt 1784. — [103] Cotte, Traité de météorologie, III, Paris 1774, S. 357 ff. — [104] Moberg, Naturalhistoriska daganteckningar gjorda i Finland 1750—1845, Helsingfors 1856. — [105] Quetelet, Instruction pour l'observation des phénomènes périodiques, Brüssel 1842; Histoire des sciences mathématiques et physiques chez les Belges, Brüssel 1871, S. 431 ff. — [106] Fritsch, Resultate aus den Beobachtungen über jene Pflanzen, deren Blumenkronen sich täglich periodisch öffnen und schliessen, S. A. W., M. N., 1850, 3. Heft; Resultate der im Jahre 1851 in Wien und an einigen anderen Orten des österreichischen Kaiserstaates angestellten Vegetationsbeobachtungen, ebenda 1855, 5. Heft; Instruktion für phänologische Beobachtungen aus dem Tier- und Pflanzenreiche, J. C. M. A., V, Anhang. — [107] Fritsch, Vegetationsverhältnisse in Oesterreich im Jahre 1853, S. A. W., M. N., 1854, 6. Heft. — [108] Staub, Anweisung zur Ausführung von pflanzenphänologischen Beobachtungen, Budapest 1880. — [109] Drude, Anleitung zu phytophänologischen Beobachtungen, Dresden 1881. — [110] H. Hoffmann, Aufruf zu phänologischen Beobachtungen in Deutschland, Z. ö. G. M., XV, S. 23 ff.; H. Hoffmann-Ihne, Aufruf zu phänologischen Beobachtungen, ebenda, XVII, S. 149 ff.; A., LV, S. 287, 350. — [111] O. Sendtner, Bemerkungen über die Methode, die periodischen Erscheinungen an den Pflanzen zu beobachten, M. G. A., XXXII, Sp. 356 ff. — [112] J. Ziegler, Pflanzenphänologische Beobachtungen zu Frankfurt a. M., Frankfurt a. M. 1891 (Ber. d. Senckenb. Naturf. Gesellsch.); J. Ziegler-W. König, Das Klima von Frankfurt a. M., ebenda 1896. — [113] Fritsch, Untersuchungen über das Gesetz des Einflusses der Lufttemperatur auf die Zeiten bestimmter Entwickelungsphasen der Pflanzen mit Berücksichtigung der Insolation und Feuchtigkeit, S. A. W., M. N., 1857, 6. Heft. — [114] Dove, Ueber den Zusammenhang der Wärmeveränderungen der Atmosphäre mit der Entwickelung der Pflanzen, A. A. B., P. K., 1844, S. 360 ff. — [115] Schwendener, Die periodischen Erscheinungen der Natur, insbesondere der Pflanzenwelt, Zürich 1856. — [116] Hult, Recherches sur les phénomènes périodiques des plantes, Upsala 1871. — [117] Schübeler, Die Pflanzenwelt Norwegens, Christiania 1875, S. 75 ff. — [118] Krašan, Ueber den kombinierten Einfluss der Wärme und des Lichtes auf die jährliche Periode, B. J. S. P. P., III, S. 74 ff. — [119] J. Sachs, Geschichte der Botanik vom XVI. Jahrhundert bis 1860, München 1875, S. 605 ff. — [120] W. Köppen, Wärme und Pflanzenwachstum, Moskau 1870. — [121] Günther, a. a. O., S. 15. — [122] Martins-C. Vogt, Von Spitzbergen bis zur Sahara, I, Jena 1872, S. 26. — [123] Boussingault, Examen comparatif des circonstances météorologiques, sous lesquelles végètent certaines plantes alimentaires, A. C. P., LXIII, S. 337 ff.; De l'influence météorologique sur la culture de la vigne, A. C. P., LXIV, S. 174 ff.; Boussingault-Graeger, Die Landwirtschaft in ihren Beziehungen zur Chemie, Physik und Meteoro-

logie, II, Halle a. d. S. 1851, S. 382 ff. — [124] De Candolle, Sur la méthode des sommes de température, appliquée aux phénomènes de végétation, A. s. p. n., LIII, S. 257 ff. — [125] Tomaschek, Mitteltemperaturen als thermische Vegetationskonstanten, Z. ö. G. M., XI, S. 81 ff. — [126] W. Hoffmann, Witterung und Wachstum als Grundzüge der Pflanzenklimatologie, Leipzig 1857; Ueber thermische Vegetationskonstanten, A. S. N. G., VIII, S. 379 ff.; Wärmekonstanten der Pflanzenentwickelung, Z. ö. G. M., V, S. 367 ff.; Zur vergleichenden Phänologie Italiens, ebenda, IX, S. 305 ff.; Ueber den phänologischen Wert von Blattfall und Blattverfärbung, A. F. J., 7. Heft; Beobachtungen über thermische Vegetationskonstanten, M. Z., I, S. 407 ff.; II, S. 455 ff.; III, S. 546 ff.; Phänologische Untersuchungen, Giessen 1887. — [127] J. Berthold, Pflanzenphänologie im Dienste der Klimatologie und deren Bedeutung für die Interessen des Gartenbaus, München 1891. — [128] v. Oettingen, Phänologie der Dorpater Lignosen; ein Beitrag zur Kritik phänologischer Beobachtungs- und Berechnungsmethoden, Dorpat 1879. — [129] Hann, I, S. 89 ff. — [130] Fritsch, Ueber Vegetationszeiten in Frankfurt a. M. von Ziegler, Z. ö. G. M., VII, S. 361 ff.; J. S. N. G., 1873—74, S. 115; 1878—79, S. 103. — [131] Linsser, Die periodischen Erscheinungen des Pflanzenlebens in ihrem Verhältnis zu den Wärmeerscheinungen, M. A. P., XI, Nr. 7; Untersuchungen über die periodischen Lebenserscheinungen der Pflanzen, M. A. P., XIII, Nr. 8. — [132] Ebenda, S. 34. — [133] Rahn, Ueber phänologische Inversionen, B. O. G. N. H., XXI. — [134] Drude, Handbuch der Pflanzengeographie, Stuttgart 1890, S. 44. — [135] Staub, Beitrag zur Lehre von den konstanten Wärmesummen, J. S. P. P., III, S. 431 ff. — [136] Drude, Die Fortschritte der Geographie der Pflanzen, W. G. J., XVI, S. 58. — [137] H. Hoffmann, Vergleichende phänologische Karte von Mitteleuropa, bezogen auf die Aprilblüten von Giessen, P. G. M., XXVII, S. 49 ff. — [138] Günther, S. 144. — [139] Ihne, Karte der Aufblühzeit von Syringa vulgaris in Europa, B. C., 1885, Nr. 3—5; M. Z., III, S. 121 ff. — [140] J. Ziegler, Phänologische Karte der Umgebung von Frankfurt a. M., J. S. N. G., 1882—88, S. 308 ff. — [141] Staub, Phänologische Karte von Ungarn, P. G. M., XXVIII, S. 335 ff. — [142] Ihne, Ueber phänologische Karten, D. G. B., XII, S. 197 ff. — [143] Ihne, Phänologische Karten von Finnland, M. Z., VII, S. 305 ff. — [144] G. Karsten, Ueber die Beziehungen zwischen der Erntezeit und den klimatischen Verhältnissen, Kiel 1884. — [145] Made, Phänologische Beobachtungen über Blüte, Ernte und Intervall von Winterroggen, Giessen 1890. — [146] Völcker, Untersuchungen über das Intervall zwischen der Blüte und der Fruchtreife, Giessen 1891. — [147] Angot, Etude sur la marche de la végétation en France, pendant les années 1880 et 81, Paris 1882; Ihne, Besprechung hiezu, B. C., 1885, S. 281 ff. — [148] Ihne, Ueber den Einfluss der geographischen Länge auf die Aufblühzeit von Holzpflanzen in Mitteleuropa, V. 64, G. N. A., II, 1, S. 181 ff. — [149] Ihne, Phänologische Jahreszeiten, N. W., X, Nr. 4; Ueber den Unterschied in der Blütenentfaltung der Jahre 1892 und 1893, N. W., IX, Nr. 15. — [150] Ihne, Der Frühling der Jahre 1890 bis 1894 in Mecklenburg-Schwerin, Schwerin 1896. —

[151] Justander, Specimen calendarii florae et faunae Åboensis, Åbo 1786. — [152] Fritsch, Instruktion für phänologische Beobachtungen aus dem Pflanzen- und Tierreiche, Wien 1859; Phänologische Beobachtungen aus dem Pflanzen- und Tierreiche, Wien 1869. — [153] G. Karsten, Periodische Erscheinungen des Tier- und Pflanzenlebens in Schleswig-Holstein, Kiel 1884. — [154] H. Hoffmann, Phän. Unters., VI. — [155] J. Ziegler, Tierphänologische Beobachtungen zu Frankfurt a. M., J. S. N. G., 1892. — [156] Erman, Ueber einige periodische Erscheinungen der organischen Natur, A. K. R., VII, S. 103 ff. — [157] Hegyfoky, Theoretische Bestimmung des Rauchschwalbenzuges und der gleichzeitigen Lufttemperatur, Aq., II, S. 111 ff. — [158] v. Middendorff, Ueber Isepiptesen, St. Petersburg 1855. — [159] Moebius, Ein Beitrag zur Frage über die Orientierung der wandernden Vögel, A., LV, S. 648 ff. — [160] Ph. Müller, Palméns Untersuchungen über die Zugstrassen der Vögel, G., XII, S. 715 ff. — [161] Ph. Müller, Die Wanderungen der Vögel, G., XVII, S. 724 ff. — [162] v. Homeyer, Die Wanderungen der Vögel mit Rücksicht auf die Züge der Säugetiere, Fische und Insekten, Leipzig 1881. — [163] Report on the Migration of the Birds in the Spring and Autumn of 1881, London 1882; Die Wanderungen der Vögel in England, G., XX, S. 625 ff. — [164] Angot, Résumé des études sur la marche des phénomènes de végétation et de la migration des oiseaux pendant les dix années 1881—90, Paris 1894. — [165] Violle, Die Messung der Intensität der Sonnenstrahlung, Z. ö. G. M., XIII, S. 379 ff. — [166] Langley, Research on Solar Heat and its Absorption by the Earth's Surface; A Report of the Mount Withney Expedition, Washington 1884. — [167] J. Maurer, Zur Diskussion der Solarkonstanten, Z. ö. G. M., XX, S. 296 ff. — [168] Radau, Actinométrie, Paris 1877. — [169] Bouguer, Traité d'optique sur la gradation de la lumière, Paris 1760, A. v. St. — [170] Lambert, Photometria, sive de mensura et gradibus lucis, colorum et umbrae, Augsburg 1760, S. 170 ff., 388 ff. — [171] Pouillet, Mémoire sur la chaleur solaire, sur les pouvoirs rayonnants et absorbants de l'atmosphère et sur la température de l'espace, C. R., VII, S. 15, 24 ff. — [172] Forbes, On the Transparency of the Atmosphere, P. T., 1842, S. 225 ff. — [173] Sprung, Lehrbuch der Meteorologie, Hamburg 1885, S. 300 ff. — [174] Frölich, Ueber den Einfluss der Absorption der Sonnenwärme in der Atmosphäre, Königsberg i. Pr. 1868; Ueber das Gesetz der Absorption der Sonnenwärme in der Atmosphäre, M. Z., V, S. 382 ff.; Zur Absorption der Sonnenwärme in der Atmosphäre, M. Z., VI, S. 78 ff. — [175] Zenker, Ueber die Absorption der Sonnenwärme in der Atmosphäre, M. Z., V, S. 481 ff — [176] Pernter, Lephays Messungen der Sonnenstrahlung am Kap Horn, M. Z., VI, S. 130 ff. — [177] Absorptionsformel für die Sonnenstrahlen, M. Z., X, S. 360. — [178] Pernter, Maurers Theorie der atmosphärischen Absorption der Sonnenstrahlen, Z. ö. G. M., L. B., XIX, S. 203 ff., 244; A. s. p. n., (3) X, S. 374 ff. — [179] Bartoli-Stracciati, Mesure del calore solare in Italia dopo 1885, J. N. C, (3) XXIX, S. 63 ff. — [180] Pouillet, S. 25. — [181] Chwolson, Ueber den gegenwärtigen Zustand der Aktinometrie; eine kritische Studie, R. M., XV, Nr. 1. — [182] Crova, Registrierapparat für die Wärmestrahlung der Sonne, Z. J., 1885, S. 442 ff.; C. R., CI, S. 148 ff. — [183] Crova, Observations actinométriques faites à Montpellier pendant l'année 1883, C. R., XCVIII, S. 387 ff.; Observations actinométriques faites en 1886 à l'observatoire de Montpellier, C. R., CIV, S. 32 ff.; Etude de l'intensité calorifique de la radiation solaire au moyen de l'actinomètre enrégistreur, A. C. P., (6) XIV, S. 541 ff.; M. Z., S. 62 ff., 237. — [184] Frölich, Messungen der Sonnenwärme, Z. ö. G. M. XIX, S. 209 ff., 400 ff. — [185] Knoblauch, De calore radiante disquisitiones experimentis quibusdam novis illustratae, Berlin 1846; A. P. C., LXX, S. 205 ff., 337 ff.; LXXI, S. 1 ff. — [186] Obermayer, Ueber die Wärme des Himmels, die Temperatur des Weltraumes und die mittlere Temperatur der Atmosphäre nach Frölich, Z. ö. G. M., L. B., XII, S. 299 ff.; XIII, S. 408 ff. — [187] H. C. Vogel, Bemerkungen zu der Abhandlung des Herrn O. Frölich über die Messung der Sonnenwärme, A. P. C., XXI, S. 615 ff.; Z. ö. G. M., XIX, S. 259 ff. — [188] Ångström, Sur une nouvelle méthode de faire des mesures absolues de la chaleur rayonnante ainsi qu'un instrument pour enregistrer la radiation solaire, Upsala 1886. — [189] Langley, The Selective Absorption of Solar Energy, P. M., XV, S. 153 ff.; On the Amount of the Atmospheric Absorption, A. J. S., 1884, S. 163 ff. —

[190] Langley, Die auswählende Absorption der Energie der Sonne, Z. J., 1884, S. 27 ff. — [191] Abney-Festing, The Influence of Water in the Atmosphere on the Solar Spectrum and Solar Temperature, P. R. S., XXXV, S. 328 ff. — [192] Saweliew, Détermination de la constante solaire, C. R., CXII, S. 1200 ff. — [193] Saweliew, Résultats des observations actinométriques faites à Kiew en 1888—89, C. R., CX, S. 235 ff. — [194] Schukewitsch, Aktinometrische Beobachtungen im Konstantinowschen Observatorium zu Pawlowsk, R. M., XVII, Nr. 5. — [195] Frölich, Ueber das Gesetz etc., S. 388 ff. — [196] Woeikow, Besprechung zu Tyndall, Z. ö. G. M., L. B., XVIII, S. 275 ff. — [197] Tyndall, Note on Terestrial Radiation, N., XXVII, S. 377 ff. — [198] Röntgen, Neue Versuche über die Absorption von Wärme durch Wasserdampf, A. P. C., (2) XXIII, S. 259 ff. — [199] Trabert, Diffuse Reflexion und Absorption der Sonnenstrahlen in der Atmosphäre, M. Z., X, S. 425 ff. — [200] Harth, Ueber die von der Erdoberfläche reflektierten Sonnenstrahlen, M. Z., IX, S. 138 ff. — [201] Bartoli, Di alcune recenti misura calorimetriche ed in particolare della misura del calore solare, Pavia 1894. — [202] Beitrag zur aktinometrischen Bestimmung der Sonnenkonstante, Nr., 1885, S. 349 ff. — [203] Ferrel, Temperature of the Atmosphere and Earth's Surface, Washington 1884. — [204] Langley, Ueber den Betrag der atmosphärischen Absorption, R. E., XXI, S. 39 ff. — [205] J. Maurer, Ueber die nächtliche Strahlung und ihre Grösse in absolutem Mafse, S. A. B., 17. Nov. 1887. — [206] Six, Experiments to investigate the Variation of local Heat, P. T., 1784, S. 428 ff.; The greatest Daily Variation of Heat, ebenda, Tab. I. — [207] Melloni, Mémoire sur le refroidisement nocturne des corps exposés à l'air libre par un temps calme et serein, A. C. P., (3) XXII, S. 129 ff., 467 ff. — [208] Bravais-Martins, Observations météorologiques faites au sommet du Faulhorn, S. P. P., 1842, S. 81 ff. — [209] Christiansen, Absolute Bestimmung des Emissions- und Absorptionsvermögens für Wärme, A. P. C., (2) XIX, S. 267 ff.; H. F. Weber, Die Entwickelung der Lichtemission glühender fester Körper, A. P. C., (2) XXXII, S. 256 ff. — [210] Trabert, Die Wärmestrahlung der atmosphärischen Luft, M. Z., IX, S. 45. — [211] Trabert, Die Bedeutung der Atmosphäre im Energiehaushalte unseres Erdballes, N. G., I, 2. Heft. — [212] Zur Kenntnis der Ursache des Frostschadens, M. Z., XV, S. 146 ff.; F. A., XIX, S. 485 ff. — [213] Kammermann, Première étude sur le minimum de nuit, A. s. p. n., XIV, S. 5 ff.; Le thermomètre à boule mouillée et son emploi pour la prévision des temps, A. s. p. n., XIV, S. 426 ff.; Die Vorausbestimmung des nächtlichen Temperaturminimums, M. Z., III, S. 124 ff. — [214] A. F. W. Schultz, Bemerkungen zu dem Berichte über die Organisation eines meteorologischen Dienstes im Interesse der Land- und Forstwirtschaft, Berlin 1879, S. 7. — [215] J. Berthold, Die Nachttemperatur und das feuchte Thermometer, M. Z., III, S. 219 ff. — [216] Troska, Zur Vorausbestimmung des nächtlichen Minimums, M. Z., III, S. 415 ff. — [217] Wollny, Untersuchungen betreffend die Methoden der Vorausbestimmung der Nachtfröste, F. A., XI, S. 150 ff. — [218] Kiersnowsky, Zur Frage über die Vorausbestimmung des Temperaturminimums, R. M., XI, Nr. 6. — [219] C. Lang, Die Vorausbestimmung des Nachtfrostes, W., IV, S. 83 ff.; Welche Zuverlässigkeit besitzt die abendliche Taupunktbestimmung für Stellung der Nachtfrostprognose? B. M. St. B., X. — [220] Wollny, a. a. O., S. 130 ff. — [219] Künstliche Wolkenbildung als Schutz gegen Nachtfrost, W., IV, S. 140. — [222] Homén, Om Nattfrosters, Helsingfors 1893; Bodenphysikalische und meteorologische Beobachtungen mit besonderer Berücksichtigung des Nachtfrostphänomenes, Berlin 1894. — [223] Halley, On the proportional Heat of the Sun in all Latitudes, P. T., 1693, S. 878 ff. — [224] Lambert-W. Karsten, Pyrometrie oder vom Mafse des Feuers und der Wärme, Berlin 1779, S. 305 ff. — [225] Ebenda, S. 333 ff. — [226] Tralles, Ueber die Erwärmung der Erde von der Sonne, A. A. B., M. K., V (1816), S. 57 ff. — [227] Meech, On the relative Intensity of the Heat and Light of the Sun, Washington 1856. — [228] Wiener, Ueber die Stärke der Bestrahlung der Erde durch die Sonne in ihren verschiedenen Breiten und Jahreszeiten, Z. M. P., XXII, S. 341 ff. — [229] Röllinger, Verteilung der Sonnenwärme auf der Erdoberfläche, Augsburg 1879. — [230] Schlemüller, Vier physikalische Abhandlungen, Prag 1881, S. 16 ff. — [231] Röllinger, S. 66. — [232] Angot, Recherches théoriques sur la distribution de la chaleur à la surface du globe, A. B. M. F., 1883, I. — [233] Pernter, A. Angots theoretische Untersuchungen über die Verteilung der Wärme über die Erdoberfläche, M. Z., III, S. 540 ff. — [234] Schoch, Darstellung der mittleren Jahrestemperaturen als Funktion der geographischen Breite und Länge. Zürich 1856. — [235] Madsen, Thermo-Geographical Studies; General Exposition of the Analytical Method applied to Researches on Temperature and Climate, Kopenhagen-Hamburg 1897. — [236] Hammer, Besprechung hiezu, P. G. M., L. B., XLIV, S. 13. — [237] Steinhauser, Die Lehre von der Aufstellung empirischer Formeln mit Hilfe der Methode der kleinsten Quadrate, Leipzig 1889. — [238] Haughton, On the total annual Heat received at each Point of the Earth's Surface from the Sun, P. S. S. D., 2, 1880, S. 151 ff. — [239] Hann, a. a. O., I, S. 102. — [240] Zenker, Die Verteilung der Wärme auf der Erdoberfläche, Berlin 1888. — [241] F. Roth, Verteilung der Sonnenstrahlung, Z. ö. G. M., XV, S. 332 ff.; W. A. M. G., 1885, Nr. 7, 9, 10. — [242] Zenker, S. 22. — [243] Ebenda, S. 36 ff. — [244] H. Berger, Geschichte der wissenschaftlichen Erdkunde der Griechen, III, Leipzig 1891, S. 140 ff. — [245] Ebenda, IV, S. 130. — [246] Wollny, Untersuchungen über den Einfluss der Farbe des Bodens auf dessen Erwärmung, F. A., I, S. 43 ff. — [247] Wollny, Der Einfluss der Pflanzendecke und der Beschattung auf die physikalischen Eigenschaften und die Fruchtbarkeit des Bodens, Berlin 1877. — [248] Aristoteles, Meteorologica, lib. I, cap. 11. — [249] Strabon, Geographia, lib. II, cap. 73. — [250] Humboldt, Kosmos, I, S. 232 ff. — [251] G. P. W., V, 2, S. 856 ff. — [252] Octavius, Ein Dialog des M. Minucius Felix, deutsch von Dombart, Erlangen 1875, S. 26; Günther, Notiz zur Geschichte der Klimatologie, B. M., I, S. 65 ff. — [253] Peschel-Ruge, Geschichte der Erdkunde bis auf A. v. Humboldt und C. Ritter, München 1877, S. 73. — [254] Hann, I, S. 129. — [255] Ebenda, I, S. 132. — [256] Winchell, Der Einfluss der grossen amerikanischen Seen auf die Temperatur des Staates Michigan, Z. ö. G. M., VIII, S. 40 ff. — [257] F. Walter, Eine Studie über die Temperatur- und Niederschlagsverhältnisse im Bodenseebecken, Freiburg i. B. 1892. — [258] Supan, Grundzüge der physischen Erdkunde, Leipzig 1896, S. 63. — [259] H. Fischer, Die Aequatorialgrenze des Schneefalles, Leipzig 1888. — [260] C. Neumann-Partsch, S. 58 ff. — [261] Jul. Schmidt, Météorologie et phénoménologie d'Attique, Athen 1881. — [262] H. Barth, Reise durch das Innere der europäischen Türkei im Herbst 1862, Berlin 1864, S. 193; Z. a. E., (2) XVI, S. 169. — [265] Supan, S. 67. — [264] Ebenda, Karte VII. — [263] La température de Werchojansk, B. S. G. J., (3) VIII, S. 61. — [266] Nansen-Mohn, Wissenschaftliche Ergebnisse der Durchquerung von Grönland 1889, P. G. M., E. H. Nr. 105. — [267] De Nadaillac, The Extreme Heat and Cold endured by Men, J. M. G. S., IX, S. 211 ff. — [268] Forbes, Inquiries about Terrestrial Temperature, T. R. S. E., XXII, S. 475 ff. — [269] Spitaler, Ueber d. Temperaturanomalien auf der Erdoberfläche, S. 365. — [270] Precht, Neue Normaltemperaturen, M. Z., XI, S. 81 ff. — [271] v. Tillo, Disquisitions sur la distribution de la chaleur et de la pression atmosphérique sur la superfice de la terre, C. R., CV, S. 863 ff. — [272] Woeikow, Die Klim. d. Erde, I, S. 332 ff. — [273] Hann, I, S. 208. — [274] Hann, Die Temperatur der südlichen Hemisphäre, Wien 1882. — [275] Zenker, a. a. O., S. 72 ff., 76 ff. — [276] Hann,

Handb. etc., I, S. 213 — [277] Zenker, S. 81. — [278] Ebenda, S. 91 ff. — [279] Zenker, Ueber den klimatischen Wärmewert der Sonnenstrahlen und über die zum thermischen Aufbau der Klimate mitwirkenden Ursachen, M. Z., IX, S. 336 ff., 380 ff.; Der klimatische Wärmewert der Sonnenstrahlen, M. Z., X, S. 340 ff. — [280] Zenker, Der thermische Aufbau der Klimate aus den Wärmewirkungen der Sonnenstrahlung und des Erdinneren, Halle a. d. S. 1895. — [281] Pernter, Besprechung hiezu, M. Z., XIII, S. (25) ff. — [282] Hann, Handb. etc., I, S. 180 ff. — [283] Ebenda, I, S. 184. — [284] Puff, Das kalte Auftriebwasser, Marburg i. H. 1890. — [289] Hann, III, S. 127. — [286] Humboldt, Kosmos, I, S. 238. — [287] Ebenda, I, S. 331. — [288] Dellmann, Das Klima der mittelrheinischen Ebene in besonderer Beziehung zur Weinkultur, Pch. 1861, S. 83 ff. — [289] Hann, III, S. 177. — [290] Ebenda, I, S. 148 ff. — [291] Rohlfs, Die Oase Djofra, Z. G. E. B., XV, S. 145 ff. — [292] Renou, Isonephen von Europa, Z. ö. G. M., XVI, S. 99 ff. — [293] H. König, Dauer des Sonnenscheins in Europa, Halle a. d. S. 1896, S. 25. — [294] Hann, I, S. 151. — [295] Schönrock, Die Bewölkung des russischen Reiches, M. A. P., (8) I, Nr. 9. — [296] Stelling-Britzke, Der jährliche Gang der Verdunstung in Russland, R. M., VII, Nr. 6. — [297] Hann, III, S. 207, Z. ö. M. G., L. B., XV, S. 236 ff. — [298] Hellmann, Untersuchungen über die jährliche Periode der Windgeschwindigkeit, M. Z., XIV, S. 321 ff. — [299] Hann, I, S. 220. — [300] Ebenda, I, S. 222. — [301] Ebenda, I, S. 227. — [302] Saussure, Reisen durch die Alpen, nebst einem Versuche über die Naturgeschichte der Gegenden um Genf, aus dem Französischen übersetzt, IV, Leipzig 1788, S. 338. — [303] Ebenda, S. 362 ff. — [304] Violle, Messung der Intensität der Sonnenstrahlung, Z. ö. G. M., XIII, S. 397 ff. — [305] Elster-Geitel, Beobachtungen betreffend die Absorption des ultravioletten Sonnenlichtes in der Atmosphäre, M. Z., X, S. 41. — [306] Lecher, Ueber die Absorption der Sonnenstrahlung durch die Kohlensäure unserer Atmosphäre, A. P. C., (2) XII, S. 466 ff. — [307] Bunsen-Roscoe, Photochemical Researches with Reference to the Laws of the Chemical Action of Light, A. P. C., XCVI, S. 373 ff.; Photochemical Researches, P. T., 1857, S. 355 ff., 381 ff., 601 ff.; 1859, S. 352 ff.; 1863, S. 139 ff.; A. P. C., C, S. 43 ff., 481 ff.; CI, S. 235 ff. — [308] Hann, S. 233 ff. — [309] Ebermayer, Der Einfluss der Meereshöhe auf die Bodentemperatur, F. A., XV, S. 385 ff.; F. v. Kerner, Aenderung der Bodentemperatur mit der Seehöhe, M. Z., X, S. 198 ff. — [310] Hann, I, S. 249. — [311] Erster Jahresbericht des Sonnblickvereines für das Jahr 1892, Wien 1893, S. 32. — [312] Hann, Die mittlere Wärmeverteilung in den Ostalpen, Z. d. ö. A., XVII, S. 51 ff. — [313], Löwl, Siedlungsarten in den Hochalpen, Stuttgart 1888, S. 9. — [314] Hann, Ueber die Erscheinungen der Wärmezunahme mit der Höhe in den Wintermonaten, Z. ö. G. M., V, S. 513 ff.; Ueber das Luftdruckmaximum vom 23. Januar bis 3. Februar 1876, nebst Bemerkungen über die Luftdruckmaxima im allgemeinen, Z. ö. G. M., XI, S. 129 ff. — [315] Hann, Die mittlere etc., S. 57. — [316] A. v. Kerner, Die Entstehung relativ hoher Lufttemperaturen in der Mittelhöhe der Thalbecken der Alpen im Spätherbst und Winter, Z. ö. G. M., XVI, S. 1 ff. — [317] Hann, Handb. etc., I, S. 259. — [318] Assmann, Die Temperaturverteilung an und auf dem Thüringerwald im Januar 1885, W., II, S. 41 ff. — [319] Lehmann, Ueber Temperaturumkehrungen auf dem Thüringerwald, Rudolstadt 1891. — [320] Greim, Temperaturumkehrungen im vorderen Odenwald, M. Z., IX, S. 417 ff. — [321] A. Kirchhoff, Die Lagenverhältnisse von Erfurt, Erfurt 1895, S. 9. — [322] Partsch, Schlesien; eine Landeskunde für das deutsche Volk, I, Breslau 1896, S. 211. — [323] Goetz, Geographisch-historisches Handbuch von Bayern, I, München 1895, S. 109. — [324] Prestel, Beobachtungen über die mit der Höhe zunehmende Temperatur in der unmittelbar auf der Erdoberfläche ruhenden Region der Atmosphäre, P. G. M., VII, S. 415 ff.; Die mit der Höhe zunehmende Temperatur als Funktion der Windrichtung, Jena 1861; Ueber die Temperaturzunahme mit der Höhe, Z. ö. G. M., I, S. 248 ff.; Ueber die mit der Höhe zunehmende Temperatur in der untersten, unmittelbar auf der Erdoberfläche ruhenden Luftschicht, Z. ö. G. M., II, S. 48 ff. — [325] Woeikow, Die Klimate etc., I, S. 208 ff. — [326] Finsterwalder-Sohncke, Einige Ergebnisse wissenschaftlicher Fahrten des Münchener Vereines für Luftschiffahrt, M. Z., XI, S. 374 ff. — [327] Woeikow, I, S. 166. — [328] Hann, I, S. 278. — [329] Pernter, Einige neuere Resultate der meteorologischen Beobachtungen auf dem Obirgipfel, Z. ö. G. M., XIX, S. 331 ff. — [330] Hann, die Abnahme des Wasserdampfgehaltes der Atmosphäre mit zunehmender Höhe, Z. ö. G. M., IX, S. 193 ff.; Die Abnahme des Wasserdampfgehaltes mit der Höhe der Atmosphäre, M. Z., IX, S. 194 ff. — [331] Finsterwalder-Sohncke, S. 372 ff. — [332] Hann, Handb. etc., I, S. 282. — [333] H. König, S. 33. — [334] Ebenda, S. 40 ff. — [335] Saussure, a. a. O., IV, S. 214; Widmann, Spaziergänge in den Alpen, Frauenfeld 1892, S. 207 ff. — [336] Assmann, Der Einfluss der Gebirge auf das Klima von Mitteldeutschland, Stuttgart 1886, a. v. St. — [337] Hann, I, S. 291. — [338] Hann, Der Regenfall auf den Hawaii-Inseln, M. Z., XV, S. 1 ff. — [339] C. Ferrari, Influenza dei monti sulla precipitatione, R. R. A. L., 9. Januar 1887. — [340] Studnička, Grundzüge einer Hyëtographie des Königreiches Böhmen, Prag 1887. — [341] Hann, Handb. etc., I, S. 297. — [342] Riggenbach, Die Niederschlagsverhältnisse des Kantons Basel und ihre Beziehung zur Bodengestalt, V. N. G. B., X, S. 425 ff.; R. Huber, Die Niederschläge im Kanton Basel in ihrer Beziehung zu den orographischen Verhältnissen, Zürich 1894. — [343] J. Partsch, Die Regenkarte Schlesiens, Stuttgart 1885. — [344] Supan, Die Verteilung des Niederschlages auf der festen Erdoberfläche, P. G. M., E.-H. Nr. 124, S. 40. — [345] Hann, I, S. 299. — [346] A. Kohn, Aus dem Berichte der Ferghana-Expedition über die Wüste Pamir, Z. w. G., I, S. 21 ff. — [347] Erk, Die vertikale Verteilung und die Maximalzone des Niederschlages am Nordabhange der bayerischen Alpen, M. Z., IV, S. 55 ff. — [348] Blanford, Winterregen in Nordindien, Z. ö. G. M., XIX, S. 452 ff. — [349] Ratzel, Höhengrenzen und Höhengürtel, Z. d. ö. A., XX, S. 102 ff. — [350] Fritzsch, Höhengrenzen in den Ortler Alpen, W. V. V. E. L., II, S. 105 ff.; Hupfer, Die Regionen am Aetna, ebenda, II, S. 293 ff. — [351] Hann, I, S, 354. — [352] Hann, Zur natürlichen Ventilation des Hochgebirgstunnels, Z. ö. G. M., XX, S. 134 ff. — [353] Penck, Der Brenner, Z. d. ö. A., XVIII, S. 12 ff. — [354] Frischauf, Die Insel Arbe; Aus dem Velebit, Z. d. ö. A., XIX, 288. — [355] Woeikow, Die Klimate etc., II, S. 344 ff. — [356] Hedinger, Der Oelbaum, Prag 1886. — [357] K. J. Neumann, Strabons Quellen im 11. Buche, Halle a. d. S. 1881. — [358] A. v. Humboldt, De distributione geographica plantarum, Paris 1817; Sur les lois que l'on observe dans la distribution des formes végétatives, A. C. P., I, S. 225 ff.; XVI, S. 267 ff.; O. J., 1817, S. 177 ff.; 1821, S. 1033 ff. — [359] Wahlenberg, De climate et vegetatione Helvetiae Septentrionalis, Zürich 1813; Flora Carpathorum, Göttingen 1814. — [360] S. Ruge, Die erste bildliche Darstellung von Höhenskalen der Gewächse, Z. w. G., V, S. 136. — [361] Ebermayer, Die physikalischen Einwirkungen des Waldes auf Luft und Boden und seine klimatische und hygienische Bedeutung, Aschaffenburg 1873. — [362] Moreau de Jonnes-M. Wiedemann, Untersuchungen über die Veränderungen, welche durch Ausrodung der Wälder in dem physischen Klima der Länder entstehen, Tübingen 1828; E. Th. Lange, Welchen Einfluss hat das Ausroden der Waldungen auf das Klima und auf die Vegetation einer Gegend? Altenburg 1837. — [363] Hann, Handb. etc. I, S. 193 ff. — [364] Woeikow, I, S. 270 ff. — [365] Supan, Grundzüge etc., S. 187 ff. — [366] C. Neumann-Partsch, S. 67 ff., S. 357 ff.. — [367] Rösel, Alt-Nürnberg, Nürnberg 1895, S. 57 ff. — [368] Ebenda, S. 62. — [369] E. Richter, Waldpflege in der

Vorzeit, M. d. ö A., IX, S. 295 ff. — [370] Lorenz v. Liburnau, Entwurf eines Programmes für forstlich-meteorologische Beobachtungen in Oesterreich, M. f. V. Oe., 1878, S. 73 ff. — [371] Ebermayer, Die klimatischen Verhältnisse des bayerischen Waldes und des Spessarts, D. G. B., VI, S. 47 ff. — [372] Müttrich, Die zu forstlichen Zwecken in Preussen und Elsass-Lothringen errichteten meteorologischen Stationen, Z. F. J., VII, S. 425 ff.; Instruktionen zu den Beobachtungen der für forstliche Zwecke errichteten meteorologischen Stationen in Preussen und im Elsass, Berlin 1875. — [373] Müttrich, Die auf den forstlich-meteorologischen Stationen in Schweden getroffenen Anordnungen, Z. F. J., XIII, S. 174 ff. — [374] Nördlinger, Der Einfluss des Waldes auf die Luft- und Bodenwärme, Berlin 1885. — [375] Ebermayer, Klimatische Wirkung des Waldes auf seine Umgebung, M. Z., X, S. 201 ff. — [376] Hann, Ueber den Einfluss des Waldes auf die klimatische Temperatur, M. Z., III, S. 412 ff. — [377] Fautrat, Einfluss des Waldes auf die Temperatur, Nr., 1875, S. 304. — [378] Hamberg, Om skogarnes inflytande på Sveriges klimat, I—II, Stockholm 1886; III, ebenda 1889. — [379] Ebermayer, a. a. O., S. 206 — [380] F. Eckert, Untersuchungen über die Temperatur und die Feuchtigkeit der Luft unter, in und über den Baumkronen des Waldes, sowie im Freilande, M. Z., VII, S. 361 ff. — [381] Müttrich, Ueber den Einfluss des Waldes auf die periodischen Veränderungen der Lufttemperatur, M. Z., VIII, S. 41 ff. — [382] Ebenda, S. 49. — [384] Ebenda, S. 55. — [384] F. Schubert, Monats- und Jahresmittel der Bodentemperatur auf dem Felde und im Kiefernwalde, Z. F. J., XX, S. 18 ff.; Bodentemperatur im Freien und im Buchenwalde, ebenda, XX, S. 728 ff. — [385] Ebermayer, a. a. O., S. 211. — [386] Clavé, On the Influence of Forests on Climates, At., 1875, Nr. 2488. — [387] Fautrat, Einfluss von Laubholz im Vergleiche von Nadelholz auf den Regen und den Wassergehalt der Luft, C. A., 1878, I, S. 3 ff. — [388] F. Pfaff, Ueber den Betrag der Verdunstung einer Eiche während der Vegetationsperiode, Z. ö. G. M., VI, S. 10. — [389] Der klimatische Einfluss des Waldes, W., V, Nr. 4—5. — [390] Woeikow, Beiträge zur Kenntnis der Wald- und Regenzonen des Kaukasus, Z. ö. G. M., VI, S. 241 ff.; Einfluss der Wälder und der Irrigation auf das Klima, ebenda, XIII, S. 47 ff., Die Klimate etc., I, S. 290 ff. — [391] Blanford-Hann, Wald und Regen in Indien, M. Z., V, S. 235 ff. — [392] Brandis, Regen und Wald in Indien, M. Z., S. 369 ff. — [393] Müttrich, Einfluss des Waldes auf den Regen, M. Z., IX, S. 306 ff. — [394] Anderlind, Der Einfluss der Gebirgswaldungen im nördlichen Palästina auf die Vermehrung der wässerigen Niederschläge daselbst, Z. P. V., VIII, S. 101 ff. — [395] Kollbach, Die Waldarmut des Mittelmeergebietes im Hinblick auf den Klosterwald von Bussaco, N. O., XXX, S. 210 ff. — [396] A. v. Humboldt-Hauff*), Reise in die Aequinoktialgegenden des neuen Kontinentes, I, S. 75. — [397] Ebermayer, Der Einfluss des Waldes und der Bestandesdichte auf die Bodenfeuchtigkeit und auf die Sickerwassermengen, F. A, XII, S. 147 ff. — [398] Denza, La meteorologia et la fisica terrestre al III. congresso geografico internazionale di Venezia, Rom 1882, S. 16 ff. — [399] C. Neumann-Partsch, S. 66 ff. — [400] Diels, Doxographi Graeci, Berlin 1879, S. 486. — [401] Landolt, Der Wald und die Alpen, Zürich 1880. — [402] Angerer, Die Waldwirtschaft in Tirol, vom volkswirtschaftlichen, sozialen und geschichtlichen Standpunkte beleuchtet, Bozen 1883. — [403] Toldt, Zur Waldfrage in den österreichischen Alpengebieten, Prag 1883. — [404] Hahn, Inselstudien, Leipzig 1883, S. 16. — [405] Ebermayer, Mitteilungen über den Kohlensäuregehalt der Waldluft und des Waldbodens im Vergleiche zu den nicht bewaldeten Flächen, F. A., I, S. 158 ff. — [406] van Bebber, Hygienische Meteorologie, Stuttgart 1895, S. 260. — [407] Pfeil, Rührt der niedrige Wasserstand der Flüsse und insbesondere derjenige der Elbe und Oder, welchen man in neuerer Zeit beobachtet, von der Verminderung der Wälder her? K. B. F., XI, S. 62 ff. — [408] van Bebber, Die Regenverhältnisse Deutschlands, München 1877, S. 119. — [409] Supan, Grundzüge etc., S. 189. — [410] Brückner, Klimaschwankungen seit 1700, nebst Bemerkungen über die Klimaschwankungen der Diluvialzeit, Wien-Olmütz 1890, S. 13 ff. — [411] Abbay, Periodicity of the Fresh-Water Lakes of Australia, N., XV, S. 47 ff. — [412] v. Lendenfeld, Der Einfluss der Entwaldung auf das Klima Australiens, P. G. M., XXXIV, S. 41 ff. — [413] Penck, Forstliche Meteorologie in Oesterreich, D. R. G. St., XIII, S. 303 ff. — [414] Boussingault, Influence des défrichements sur la diminution des cours d'eau, A. C. P., LXIV, S. 118 ff.; Ueber den Einfluss des Umbruches des Bodens auf die Wasserläufe, N. J. M. G. P, 1838, S. 508 ff. — [415] Humboldt, a. a. O., II, S. 200 ff.

Kapitel VIII.

Klimatographie der Erdoberfläche.

§. 1. **Die klimatographischen Probleme im allgemeinen.** Die theoretische Klimatologie gibt die Normen an, gemäss deren die Detailforschung für grössere oder kleinere Erdgebiete ihre Aufgabe zu lösen hat, während umgekehrt wieder aus dem zusammenfassenden und vergleichenden Studium klimatographischer Einzelergebnisse die Theorie selbst neue Anregungen zieht. Jede klimatische Monographie also, welche uns mit regionalen oder lokalen Eigentümlichkeiten des durch die verschiedensten Faktoren beeinflussten Klimas bekannt macht, ist wertvoll, und nur dadurch, dass die Anzahl solcher Einzelbeschreibungen sich stetig vermehrt, können wir jene Faktoren richtig zu würdigen

*) Betreffs der Ausgabe, nach welcher zitiert wird, gilt, was früher (I, S. 39) über den „Kosmos" gesagt ward.

hoffen. Für die Art und Weise, wie diese Ausnützung eines immer gewaltiger anschwellenden Materiales zu erfolgen habe, ist wieder Hanns viel genanntes Werk mustergültig.

Wenn die Einteilung der Erdoberfläche in Zonen (S. 248) einen Sinn hat, so müssen gewisse klimatische Eigenschaften vorhanden sein, welche jeweils für die nämliche Zone als charakteristisch gelten können. Unsere Aufgabe wird es zunächst also sein, die Hauptklimate, wenn dieser Ausdruck gerechtfertigt erscheint, in grossen Zügen zu kennzeichnen. Erst wenn dies geschehen, kann an eine speziellere Prüfung der Einzelklimate herangetreten werden.

§. 2. **Allgemeine Charakteristik der Hauptklimate.** a) **Das Tropenklima.** Im Anschluss an Hann [1] kann die heisse Erdzone als derjenige Teil der Erdoberfläche bezeichnet werden, für welchen der anderwärts so tief greifende Unterschied zwischen Klima und Wetter (S. 246) fast ganz verschwindet. Die unperiodischen Vorgänge treten in den Hintergrund gegenüber den in rhythmischer Periodizität sich abspielenden Ereignissen, wie wir dies bereits an dem Beispiele der barometrischen Schwankungen (Kap. VI, §. 3) kennen gelernt haben.

Der Gegensatz zwischen kalter und warmer Jahreszeit, Sommer und Winter verschwindet nahezu vollständig und macht sich einigermassen erst gegen die Wendekreise hin und wieder geltend; dafür tritt ein neuer Gegensatz entschieden zu Tage, nämlich derjenige der Regen- und Trockenzeiten. Die Temperaturgradienten und damit auch die Luftdruckgradienten (S. 190) sind meist gering; lebhafte Zyklonalbewegung ist nur beschränkten Grenzgebieten des eigentlichen Tropengürtels eigen. Die täglichen wie die jährlichen Extremwerte der Temperatur liegen nicht weit auseinander, und nur an einzelnen Stellen nahe dem nördlichen Wendekreise kommen gelegentlich Temperaturen unter Null vor. In Kanton (23° 8′ n. Br.) schneit es nach Meyen [2] ab und zu einmal, auf der benachbarten Insel Hongkong aber niemals. Wie wir wissen (S. 200), stimmt die heisse Zone im äquatorialen Teile mit der Kalmenregion überein, so dass also hier die aufsteigende Luftbewegung, mit welcher vielfach Wärmegewitter (S. 223) Hand in Hand gehen, vorherrscht; in den äusseren Partien sind östliche Winde als die Regel zu betrachten, d. h. nordöstliche auf der nördlichen, südöstliche auf der südlichen Halbkugel (S. 198). Rein nördliche oder rein südliche Luftströmungen gehören zu den grössten Ausnahmen; erstere zeigen sich [3] mit einer gewissen Regelmässigkeit in Ostasien und Mexiko, welch letzteres den rauhen Winden des nordamerikanischen Steppenterritoriums offen liegt.

Da bekanntlich die Niederschläge in erster Linie an das Vorhandensein eines aufsteigenden Luftstromes (S. 190) gebunden sind, und da intensive Sonnenstrahlung auch lebhafte Luftauflockerung bedingt, so würde zu erwarten sein, das jene Oertlichkeiten, für welche die Mittagssonne im Zenit steht, auch am meisten von Regen heimgesucht würden. Rein schematisch konstruierend, hat man früher wohl auch geglaubt, jedem Tropenorte komme ein doppeltes jährliches Regenmaximum zu, weil die Sonne auf ihrem scheinbaren Laufe zweimal im Jahre den Scheitelpunkt eines jeden solchen Ortes erreicht. Dies trifft nun freilich keineswegs für alle Orte des ungeheuren, mehr als den dritten Teil der Erde umfassenden Raumes zu; gewiss wechseln vielfach zweimal im Jahre trockene und nasse Perioden ab, aber anderwärts ist auch wieder das eine Niederschlagsmaximum nur schwach oder auch gar nicht markiert, und wieder anderswo, z. B. auf der Antilleninsel Jamaika, ist ein dreimaliges Wachstum der Regenmenge — im Januar, im Mai und im Oktober — zu konstatieren [4]. Von einem um den Erdball herumreichenden, geschlossenen Gürtel doppelter Regenzeiten kann keine Rede sein [5]; am wenigsten ordnen sich die Ozeane dieser Annahme unter. Als einer der mancherlei Umstände, welche die theoretische Regelmässigkeit beeinträchtigen, ist der Wegzug der zumeist schwer mit Feuchtigkeit beladenen Passate über ein gebirgiges Land anzuerkennen, welches zahlreiche Gelegenheiten (S. 282) zu ausgiebiger Kondensation und Regenbildung darbietet.

Ein weiteres auszeichnendes Element des Tropenklimas erkennen wir in hoher Luftfeuchtigkeit, und zwar gilt das für die relative sowohl wie auch

für die absolute (S. 23); nur im Inneren der Kontinente kann es unter der Herrschaft des Passates auch relativ trocken werden. In Kap. XI haben wir diesen Sachverhalt eingehender zu erörtern. Der Passat vertreibt auch die Wolken und bringt heiteres Wetter, während im allgemeinen jene hellen Tage, die dem Europäer in angenehmer Erinnerung stehen, selten sind. In der Regenzeit hängen schwarze Wolken am Himmel, und auch sonst ist ein tiefblaues Firmament, wie dies Hann [6] an einigen Beispielen nachweist, lange nicht so häufig zu finden, wie man wohl meinen möchte, wenn man hört, dass allerdings der Luft eine blendende Helligkeit zukomme. An der Küste ist der Bewölkungsgrad aus naheliegenden Gründen ein besonders hoher, wie sich denn z. B. Kamerun durch seine starke, selten auf längere Zeit zerreissende Wolkendecke unvorteilhaft von anderen Kolonialgebieten abhebt [7]. In dem von der meteorologischen Optik handelnden Abschnitte wurde bereits (S. 105) von der Eigenart der tropischen Dämmerung Notiz genommen.

b) **Das gemässigte Klima.** Dieser Name ist ausschliesslich von der Temperatur hergenommen, welche innerhalb der beiden betreffenden Erdzonen weder die extrem hohen Werte des Tropenklimas, noch auch die extrem niedrigen der polaren Gegenden erreicht. Doch bezieht sich dies ausschliesslich auf die Absolutwerte. Im übrigen sind gerade diese Erdgürtel durch die grösstmögliche Regellosigkeit im Wechselspiele der atmosphärischen Erscheinungen gekennzeichnet, so dass also unter diesem Gesichtspunkte die Berechtigung der Benennung wohl angefochten werden könnte.

Die jährlichen Temperaturgegensätze sind überall da, wo das Kontinentalklima (S. 272) seine Natur frei zu entfalten vermag, ganz beträchtlich grösser, als sie jemals im polaren oder tropischen Klima werden können, welch letzteres ja überhaupt zum ozeanischen in Parallele gestellt werden kann. Durchweg sind die Jahreszeiten bestimmt ausgesprochen, in den von den Wendekreisen entfernteren Strichen natürlich auch mit grösserer Schärfe, und in diesem konstanten Wechsel von Wärme und Kälte ist, wie Ratzel [8] des näheren ausführt, hauptsächlich die Ursache dafür zu suchen, dass die menschliche Kultur nur im gemässigten Klima ihre richtige Heimstätte finden konnte. Jede der vier Hauptjahreszeiten, Frühling, Sommer, Herbst und Winter, hat ihren aus zeichnenden Charakter [9]. In Bezug auf Luftfeuchtigkeit, Bewölkung und Niederschlag lässt sich kein Moment namhaft machen, welches sämtlichen Teilen der beiden gemässigten Erdgürtel gemeinsam wäre.

Wohl aber gibt es ein solches bezüglich der Windrichtung: jene Zonen haben vorwiegend Winde aus dem westlichen Quartier der Windrose [10]. Es hängt diese Thatsache aufs engste zusammen mit der allgemeinen Zirkulation der Erdatmosphäre (Kap. VI, § 17), bei deren Besprechung auch schon auf den Sattel hohen Luftdruckes hingewiesen wurde, welcher sich rings um die Erde legt und die Windgebiete der beiden gemässigten Zonen von dem dazwischen liegenden tropischen Windgebiete trennt.

c) **Das polare Klima.** Wir wissen, dass das Klima zunächst durch die Stellung der Sonne gegen den in Frage kommenden Teil der Erdoberfläche bedingt erscheint. Für jede der beiden Polarkalotten gilt nun aber, wie die mathematische Geographie beweist, folgendes: Eine Reihe von Tagen bleibt die Sonne völlig unsichtbar; während einer zweiten Reihe von Tagen geht die Sonne auf und unter; während einer dritten Reihe von Tagen endlich wird sie zirkumpolar. Je näher der Beobachtungsplatz dem Pole liegt, um so kürzer wird der an zweiter Stelle genannte Zeitraum, bis endlich an den Polen selbst „ewiger Tag“ und „ewige Nacht“ von je sechsmonatlicher Dauer mit einander abwechseln. Man wird erwarten dürfen, dass diese Eigentümlichkeiten sich auch im Klima irgendwie wiederspiegeln müssen.

Fände nicht die uns bekannte, starke Schwächung der Sonnenwärme beim Durchgange durch die Atmosphäre statt, und würde nicht (S. 256) ein erheblicher Bruchteil dieser Wärme zur Schmelzung ungeheurer Schnee- und Eismassen aufgebraucht, so müsste sich während des ewigen Tages der den Polen näher liegenden Gebiete die Konstanz des Sonnenscheines doch recht bemerklich machen, so klein auch der Neigungswinkel der Strahlen ist. An Bergabhängen, welche die Sonnenstrahlen unter einem grösseren Einfallswinkel treffen und deshalb auch intensiver erwärmen, kommt das polare Pflanzenleben, das oft über Vermuten reich ist, am besten zur Entfaltung, zumal da auch das Schmelzwasser von den Abhängen rasch abläuft. Von der Umgebung der Berings-Strasse berichtet Kjellmann [11]: „Die grösste Anzahl der phanerogamischen Pflanzenarten der Nunamo-Gegend hatte ihren Standort auf den Ufer- und Flussabhängen." Ebene Flächen und noch mehr Bodensenken, in denen das Schneewasser sich halten kann, bleiben zumeist vegetationslos. Nach Kihlmanns Beobachtungen auf der Halbinsel Kola, deren Hann [12] gedenkt, hatte einmal ein steiler Abhang 30° äussere Bodentemperatur, während die Luft nahe dem Boden nur 9° aufwies. Der jährliche Wärmegang des nördlichen Polargürtels lässt als besonderes Merkmal den sehr langen Winter erkennen; der alte Volksspruch, „wenn der Tag fängt an zu langen, kommt die Kälte erst gegangen", trifft hier so vollständig zu, dass der März, mitunter sogar noch der Anfang des April, zum kältesten Abschnitte des Jahres werden kann, wie dies u. a. die Schollenfahrer, welche sich aus dem Schiffbruche der „Polaris" gerettet hatten, zu ihrem Schaden erfahren mussten [13]. Der Juli ist dagegen allenthalben der wärmste Monat; im August wird schon die Verkleinerung des Neigungswinkels der Sonnenstrahlen fühlbarer.

Die Tagesschwankung ist im Polarwinter ausserordentlich gering, obwohl um die Mittagszeit eine geringe Temperatursteigerung, sogenannte Wärmedämmerung, zum öfteren beobachtet worden ist. Ebenso eignet dem Winter grosse Trockenheit; man erkennt dieselbe mehr an indirekten Kriterien, wie denn z. B. Fusstapfen im Schnee nach mehreren Jahren noch sichtbar geblieben sind, denn allen exakten Feuchtigkeitsmessungen im Polarklima stehen, wie Hildebrandsson bemerkt, grosse Schwierigkeiten entgegen [14]. Die Niederschlagsmengen pflegen gering zu sein, doch ist in manchen Ländern die Luft stets mit feinen Eisteilchen (Diamantstaub) erfüllt [15]. Die Behauptung, jenseits der Polarkreise kämen die Niederschläge gewöhnlich nur in fester Form zur Erde, geht viel zu weit. Parry z. B. erlebte, als er die nordwestliche Durchfahrt aufsuchte, gründliches Regenwetter im Juni und ganz besonders im Juli [16]. Immerhin mag es eine Polargrenze der tropfbaren Hydrometeore geben, und es wäre von Interesse, deren ungefähre Lage zu kennen.

An die Bedeutung der arktischen Windscheide von Supan [17] ist früher erinnert worden; jenseits derselben fehlen auf der Nordhalbkugel die regelmässigen Winde. Auch heftige Stürme gehören innerhalb des 75. Breitengrades zu den Ausnahmen, weil die barometrischen Depressionen ihren Weg meist in zu grossem südlichem Abstande nehmen (Kap. VI, §. 11).

Wenig Zuverlässiges ist uns über das antarktische Klima bekannt; die spärlichen authentischen Daten hat Fricker [18] zu einem Gesamtbilde zu vereinigen gesucht. Es scheint, dass dort die Sommertemperaturen sehr niedrig sind, weitaus niedriger, als unter gleichem Parallel im hohen Norden, und dass auch die Verteilung des Luftdruckes relativ extreme Verhältnisse bietet, indem sich über dem südlichen Eismeere Depressionen von einer Stärke dauernd erhalten, welche der Europäer nur von seinen rasch dahinziehenden Zyklonen (S. 188) [19] kennt. Regen und Tau fehlen auch der Antarktis nicht ganz und gar, aber Schnee bildet die Norm, und zwar fällt er nicht sowohl in der uns geläufigen Form regulärer Sechsecksterne (S. 39), als vielmehr in der Form feiner Nädelchen.

§. 3. **Subtropische und subpolare Erdgürtel.** An den Grenzen zweier Erdzonen verschiedenen Charakters wird immer sozusagen eine Durchdringung oder Koëxistenz ihrer fundamentalen Eigenschaften zu beobachten sein; die tropische Zone greift noch etwas in die gemässigte über, und gleicherweise nimmt das gemässigte Klima, bei meridionalem Fortschreiten, schon ehe noch die Polarkreise erreicht werden, gewisse arktische resp. antarktische Züge an. Dies hat die Geo-

graphen veranlasst, die alte historische Zoneneinteilung noch zu erweitern und vor allem den Komplex aller jener Erdgegenden, in denen sich weder das Klima der tropischen, noch das Klima der gemässigten Zone scharf ausprägt, zu einer besonderen, der subtropischen Zone zu vereinigen.

Ein die Erde rings umschliessendes Band, wie es der Name andeuten würde, ist die sogenannte subtropische Zone keineswegs. Auf der Nordhalbkugel umfasst dieselbe [20] wesentlich das Mittelmeerbecken im weitesten Sinne des Wortes. Man kann hiezu rechnen ganz Nordafrika samt den Nord- und Südkanarien und Azoren, die pyrenäische Halbinsel, das südöstliche Frankreich, Italien nebst dem Kanton Tessin und den Thälern Südtirols, das österreichisch-ungarische Küstenland, Dalmatien, die dem Meere benachbarten Teile der Balkanhalbinsel, vorab also das gesamte Griechenland, einen schmalen Küstensaum (Krim) an der Nord- und Ostseite des Schwarzen Meeres, Kleinasien, Syrien und Palästina, das nördliche Arabien und Persien samt den nächst anliegenden iranischen und turanischen Gebietsteilen. Wie man sieht, sind dies wesentlich diejenigen Länder, welche die Kulturwelt des Altertums ausmachen. Uebrigens grenzt die subtropische Zone nicht direkt an die tropische an, sondern zwischen beide schiebt sich eine breite Wüstenregion ein, welche am Atlantischen Ozean ihren Anfang nimmt und mit wechselnder Breite Nordafrika und Arabien durchzieht; nur im Osten, im nordwestlichen Indien, verwischt sich diese klimatische Grenzprovinz so ziemlich. Im östlichen Asien lässt sich das auszeichnende Merkmal der Subtropen höchstens strichweise, nicht aber für einen grösseren Raum nachweisen. — Auch in Nordamerika kommt es zu keiner reinen Ausbildung der subtropischen Zone, und zwar ist dies auf den Umstand zurückzuführen, dass die Gebirge dieses Erdteiles in der Hauptsache von Süd nach Nord verlaufen; wenn mithin eine Einteilung in klimatische Provinzen angängig ist, so werden dieselben mehr durch den Zug der Gebirge als durch andere Verhältnisse bestimmt. Nur Südkalifornien kann mit einigem Rechte als ein subtropisches Land angesprochen werden [21]. — Subtropisch sind ferner [22] das südafrikanische Dreieck, dessen Ostrand allerdings den eigentlichen Tropencharakter noch unter ziemlich hohen südlichen Breiten festhält, ferner das aussertropische Australien und ein breiter Streif von Südamerika. Bloss dieser letztere Erdteil besitzt ein vollkommenes Analogon zu dem, was wir als gemässigte Zone im engeren Sinne kennen, denn die beiden anderen Erdteile erreichen ihren Abschluss nach Süden schon im Bereiche der Subtropen. Für das freie Meer endlich verliert dieser Begriff seine Bedeutung, wie sich denn überhaupt unter der Herrschaft eines rein maritimen Klimas (S. 272) der Uebergang aus dem tropischen Gürtel zu den gemässigten Zonen ganz allmählich vollzieht. Ein scharf ausgesprochenes Grenzgebiet ist hier nicht vorhanden.

Die charakteristischen Eigenschaften des subtropischen Klimas, um dessen Erforschung sich insbesondere Th. Fischer [23] verdient gemacht hat, haben ihren gemeinsamen Ursprung besonders in der einen massgebenden Thatsache: Die Niederschläge sind an die kalte Jahreszeit gebunden. Während unter den Tropen ein doppeltes Jahresmaximum der Niederschlagshäufigkeit wenigstens (s. o.) die Regel bildet, während im Wüstengürtel die Befeuchtung durch meteorisches Wasser zu den grossen Seltenheiten zählt, während endlich die gemässigte Zone zwar in allen Jahreszeiten Regen hat, besonders ergiebigen aber gerade in den Sommermonaten, ist die subtropische Zone das Gebiet der Winterregen. Es hängt dies zusammen mit der jahreszeitlichen Verschiebung der grossen barometrischen Maxima (Aktionszentren) über den Weltmeeren (s. S. 182), welche bewirkt, dass gerade der Sommer unter hohem, der Bildung aufsteigender Luftströme entgegenwirkendem Drucke sich befindet.

Es versteht sich von selbst, dass der winterliche Niederschlag nicht überall mit gleicher Bestimmtheit ausgesprochen sein wird; je näher man den Grenzen der eigentlichen gemässigten Zone kommt, um so mehr partizipieren auch andere

Jahreszeiten am Regen. Die afrikanische Nordküste ist an sich schon regenarm, aber wenn es überhaupt zu Niederschlägen kommt, so ereignen sich diese nur im Winterhalbjahre [24], und andererseits übertrifft auch noch am Südrande der Alpen die winterliche Regenmenge ganz erheblich die sommerliche, indem nur mehrfach die grösste Regenmenge auf die Uebergangszeiten trifft. So erscheinen z. B. in Bozen-Gries [25] als die feuchtesten Monate diejenigen des Vorfrühlings und des Spätherbstes.

Hann hat eine Tabelle geliefert [26], welche es gestattet, die Abnahme der Winterregen von Malta bis zu den Alpen zu verfolgen. Es ergibt sich daraus, dass im westlichen Mittelmeerbecken die Herbstregen zunehmen, je weiter man nach Norden fortschreitet, während weiter östlich die Sommerdürre sich bis tief in den Herbst hinein erstreckt, und dafür pflegen dann die Frühjahrsregen einigen Ersatz zu bieten. Die absolute Regenmenge nimmt nicht bloss von Norden nach Süden, sondern auch von Westen nach Osten hin ab.

Auch die Temperaturverhältnisse der subtropischen Zone bekunden eine nicht zu verkennende Eigentümlichkeit, und wenn man sie zum alleinigen Masstabe nehmen wollte, könnte man mit einigem Rechte diese Zone, die ja erwähntermassen ihren Namen nicht ganz zutreffend erhalten hat [27], als einen wirklichen Erdgürtel auffassen, „der den Uebergang aus dem Tropengebiete in die mittlere gemässigte Zone bildet“. Hohe Sommerwärme kennzeichnet die Subtropen, und dass dann, wenn ein subtropisches Land zugleich unter kontinentalem Einflusse steht, die jährliche Temperaturschwankung geradezu exzessiv werden kann, ist von vornherein zu erwarten. An der hier in Betracht kommenden afrikanischen Westküste beträgt der thermische Gegensatz zwischen wärmstem und kältestem Monate nur 6 bis 7°, während er in der mesopotamischen Tiefebene auf 26° ansteigt. Von Juni ab nimmt die Hitze zu und erreicht oft erst im Herbst ihr Maximum. Schnee ist im Subtropengebiete selten und bleibt nicht dauernd liegen.

Der Einfluss der Meereshöhe (Kap. VII, §. 11) tritt auch im subtropischen Gürtel scharf hervor. So gleicht z. B. nach Riccò [28] das Klima des Aetnagipfels, dessen mittlere Jahrestemperatur 1,6° beträgt, demjenigen des Brockens oder des Nordkaps. Spanien ist allbekanntlichst ein regenarmes Land, dem in der Römer- und Maurenzeit allerdings durch grossartige Bewässerungsanlagen ein gewisses Mass von Fruchtbarkeit gesichert war, so dass zumal, wie sich Rein ausdrückt [29], an der Südküste die Landwirtschaft vom Regen ziemlich unabhängig gemacht werden konnte. Gleichwohl trifft man im spanischen Gebirgslande nach Hellmann [30] auch sehr regenreiche Gebiete an, und es wird z. B. die Sierra Estrella in Portugal, was das Mass der atmosphärischen Befeuchtung anbelangt, in Europa nur noch von dem Seendistrikte Cumberlands (englisch-schottische Grenze) übertroffen. Erhebung über das Meer hat also zur Folge, dass das subtropische Klima sich mehr und mehr demjenigen nähert, welches innerhalb gemässigterer Breiten schon bei geringerer Seehöhe zu finden ist, nur mit schwächerer Markierung der Jahreszeiten.

Die Einwirkung der subtropischen Eigenart auf die Physiognomie der Landschaft drängt sich auch dem nicht an wissenschaftliche Beobachtung gewöhnten Auge auf. In der warmen Jahreszeit trocknen Flüsse und Bäche grösstenteils aus, während im Winter, beziehungsweise im Frühling und Herbst, Ueberschwemmungen an der Tagesordnung sind. Die italienische Sprache kennt für jene intermittierenden Wasserläufe, welche auf der Halbinsel und noch mehr auf Sizilien viel häufiger als die perennierenden sind, das besondere Wort Fiumaren. Sehr interessanten Beispielen für diesen Sachverhalt begegnet man bei Neumann-Partsch [31]; „der Ilyssos, der nach Regengüssen die Kraft eines verheerenden Giessbaches gewinnt und Kunststrassen zerstören kann, ist in der Zeit spärlicher Niederschläge ein winziges Bächlein, das eine Spanne, hin und wieder auch wohl einen Schritt breit ist, und Ende Juni, am Beginn der heissen Zeit, versiegt er bei Athen gänzlich“ [32]. Australien besitzt nur einen einzigen jederzeit fahrbaren Strom, den Murray, während der ihm tributäre Darling, dessen Stromgebiet etwa dem der Elbe gleichkommt, im Sommer nur noch als ein unzusammenhängendes Aggregat von Wasserlachen sich darstellt [33]. Bekannt und viel beklagt ist auch die sommerliche Wasserarmut des deutschen Schutzgebietes in Südwestafrika, über welche, sowie über allfallsige Mittel der Abhilfe man sich aus dem Werke von Schinz [34] unterrichten kann. — Der subtropische Wald ist ebenfalls von demjenigen anderer Erdzonen verschieden; im Bereiche des Mittelländischen Meeres herrscht die immergrüne Eiche vor; im japanisch-chinesisch-subtropischen Gebiete bestimmt

der Ahornbaum den Typus des Landschaftsbildes [35]. Auch die Strauchvegetation zeichnet sich durch üppige Entwickelung aus; die Macchie (im korsischen Patois Maquis) der Italiener haben überall auf den drei südlichen Halbinseln Europas den Wald teilweise verdrängt [36], während sie in alter Zeit noch nicht so verbreitet gewesen sind. Auch diese Strauchwälder verleihen durch ihre jahraus jahrein grüne Färbung der Gegend eine ganz charakteristische Stimmung.

Eine gleich präzise Definition von der subpolaren Zone, wie es bezüglich der subtropischen möglich war, kann nicht gegeben werden. Einigermassen verhilft dazu die Betrachtung der Luftdruckverteilung, denn gegen den Polarkreis hin macht sich, wie Supan [37] des näheren ausgeführt hat, auf der nördlichen Hemisphäre ein Gürtel ausgesprochenen barometrischen Tiefstandes bemerklich, und ein gleiches trifft auch für die Südhalbkugel zu. Jedenfalls sind die Polarkreise auch nicht annähernd als wirkliche Grenzlinien anzusehen, sondern an manchen Orten herrscht auch jenseits des nördlichen Polarkreises ein durchaus gemässigtes Klima, und noch häufiger ist umgekehrt der subpolaren Zone ein echt polares Klima aufgedrückt.

Ersteres gilt zumal für Europa, denn die noch von den Ausläufern des Golfstromes berührte Westküste Norwegens hat auch im Winter eine höchst gemässigte Temperatur; Hammerfest (70° 40′ 11″ n. Br.) hat eine mittlere Jahrestemperatur von + 2°; bei Tromsöe in Finnmarken gedeiht in geschützter Lage noch Gerste; und Skandinaviens Norden weist, allein von allen Polarländern, in seiner Fauna Reptilien auf [38]. Dagegen sind das östliche Sibirien und die Hudsonsbayländer, obwohl noch zum Teile unter relativ niedrigen Breiten gelegen, subpolare Gebiete, welche mit den polaren die wichtigsten Eigenschaften gemein haben. Zunächst allerdings nur im Winter, denn der Sommer mit seinen warmen Tagen und seiner kurzlebigen, aber reichen Pflanzenwelt erinnert deutlich genug daran, dass man sich doch noch innerhalb eines gemässigten Erdstriches befindet. Die Sommerflora von Fort Rae, welches unter 62° 38′ 52″ n. Br. am Grossen Sklaven-See gelegen ist, weiss Dawson [39] nicht genug zu rühmen. — Minder günstig gestalten sich die Dinge in der subantarktischen Zone, weil hier der wohlthätige Einfluss, den das Kontinentalklima in der warmen Jahreszeit ausübt, in Wegfall kommt. Am Kap Hoorn ist der Unterschied zwischen Sommer und Winter so gut wie beseitigt, und kein Monat vergeht ohne Schneefall [40]. Doch auch das unwirtliche Feuerland und die südlichen chilenischen Inseln im Stillen Ozean erregten durch ihre „halbtropische Vegetation“ und durch das Auftreten mancher hier am wenigsten erwarteter Tiere — Kolibris — das Staunen Darwins [41]. Man kann ganz allgemein sagen: Nicht im meteorologischen Grundcharakter ist die Verschiedenheit der polaren und subpolaren Zonen begründet, sondern in dem Umstande, dass im Bereiche der letzteren das organische Leben noch in einem Umfange sich zu entfalten vermag, wie dies jenseits der Polarkreise nur unter seltenen Ausnahmeverhältnissen möglich ist.

Die generellen klimatischen Einteilungen der Erdoberfläche haben wir nunmehr kennen gelernt. Es ist deshalb an der Zeit, die Verteilung der einflussreichsten klimatischen Elemente über die Erde hin in Betracht zu ziehen. An die Spitze stellen wir die Wärmeverhältnisse; es folgen Luftdruck und Winde; zuletzt sind Wasserdampf und Niederschläge ins Auge zu fassen.

§. 4. **Die Temperaturverteilung auf der Erde.** Selbstverständlich können wir nicht daran denken, die einzelnen Länder unseres Planeten genau auf ihr thermisches Verhalten zu prüfen. Es kann vielmehr nur darauf ankommen, auch hier nach ausgedehnteren Erdräumen von wesentlich übereinstimmendem Temperaturcharakter zu suchen. Bis zu einem gewissen Grade helfen dafür schon die alten, geometrischen Zonen aus,

welche für alle Zeiten die Grundlage der erklärenden wie der beschreibenden Klimatologie bilden werden. Daneben freilich sind — ebenso wie wir die subtropischen und subpolaren Gebiete ausscheiden — auch noch anderweite, einem bestimmten Zwecke angepasste Zoneneinteilungen zulässig, und zwei derselben, welche von W. Köppen [42] und von Supan [43] vorgeschlagen worden sind, fordern auch eine gesonderte Betrachtung an dieser Stelle.

a) **Köppens Wärmezonen.** Als Kriterium für die Zuweisung eines Ortes in eine bestimmte Wärmezone wird die Länge der Zeit gewählt, während deren sich die Temperatur dortselbst innerhalb gewisser Grenzen hält. In der Ansetzung dieser Grenzwerte kann natürlich eine gewisse Willkür nicht vermieden werden, aber gleichwohl lässt sich eine befriedigende Wahl dann treffen, wenn man auf die Beziehungen der Wärme zum organischen Leben Rücksicht nimmt. Köppens Klassifikation kann mit einigem Rechte als eine phänologische (Kap. VII, §. 5) gelten. In bequemer Form stellt die auszeichnenden Merkmale Hann [44] zusammen, wie folgt:

Tropischer Gürtel; über 20° im Tagesmittel; alle Monate heiss.
Subtropische Gürtel; ein Teil des Jahres heiss (über 20°); ein anderer Teil gemässigt (unter 20°).
Gemässigte Gürtel; 10° bis 30° im Tagesmittel während eines Zeitraumes, der mindestens dem dritten Teile des Jahres gleichkommt.
Subpolare Gürtel; 1 bis 4 Monate gemässigt, über 10°; die übrigen kalt, unter 10°.
Polare Kalotten; alle Monate kalt, unter 10°.

Innerhalb des letzterwähnten Erdraumes kommen hochstämmige Bäume, Feld- und Gartenfrüchte nicht mehr fort.

b) **Supans Wärmezonen.** An die Stelle der geometrischen Grenzlinien (Parallelkreise) sollen die Isothermen treten. Die warme Zone hat als Grenzlinien jene beiden Isothermen von 20°, welche den kältesten Monaten des Jahres zugehören, und zwar zerfällt dieselbe in drei Gürtel, einen tropischen und zwei ektropische (oder subtropische). Ersterer wird eingeschlossen durch die beiden Jahresisothermen von 20°. Ferner verläuft die gemässigte Zone zwischen den beiden Jahresisothermen von 20° und 0°, und zwar lässt sich auch hier ein Aequatorial- und ein Polargürtel unterscheiden. Jenseits der Jahresisothermen von 0° liegen die kalten Zonen, innerhalb deren aber wieder eine Abgrenzung in subpolare und eigentlich polare Zonen dadurch herbeigeführt wird, dass man wiederum die Isotherme Null für den kältesten Monat zieht.

Eine andere, für manche Aufgaben gleichfalls sehr zweckmässige Zoneneinteilung ermöglichen auch die (S. 249) schon erwähnten, von Supan [45] eingeführten Linien gleicher Wärmeschwankung. Dieselben gestatten namentlich eine genauere Bestimmung der von Hause aus etwas vagen Begriffe des Land- und Seeklimas, indem sich folgende Klimaformen als Typen aufstellen lassen: See- und Aequatorialklima mit einer Schwankung $< 15°$; Uebergangsklima mit einer Schwankung $\geqq 15° \lesseqgtr 20°$; Landklima mit einer Schwankung $> 20° \lesseqgtr 40°$; exzessives Kontinentalklima mit einer Schwankung $> 40°$. Eine in diesem Sinne hergestellte Klimakarte lässt insbesondere auch einen der bedeutsamsten Gegensätze, die wir in der Klimatologie kennen, denjenigen zwischen den Ost- und Westküsten der grossen Kontinentalmassen, deutlich in die Erscheinung treten. Supans Darstellung gewährt überhaupt manchen dankenswerten Einblick in die Gesetze der Wärmeverteilung. Wir wollen hier nur der einen Thatsache gedenken, dass das reinste Aequatorialklima im Indischen Ozean sich offenbart, weil dort die jährliche Differenz zwischen höchster und niedrigster Temperatur im Mittel gerade nur 1° beträgt. Zwischen Tages- und Jahresschwankung braucht keinerlei gesetzmässige Beziehung obzuwalten, doch lassen sich nach Supan [46] auch da Charakteristiken der einzelnen Zonen aufstellen. Im Aequatorialklima sind beide Schwankungen (s_t und s_i) gering, doch ist $s_t > s_i$, so dass die Nacht gewissermassen den Tropenwinter vorstellt; im Seeklima mittlerer und höherer Breiten bleibt zwar die Geringfügigkeit beider Werte erhalten, aber jetzt ist

$s_i > s_t$, und landeinwärts nehmen beide zu; für das Polarklima endlich ist entschieden $s_i > s_t$. Auch der Unterschied zwischen Höhen- und Tiefenklima (Kap. VII, §. 11) will beachtet sein. Das Bergklima gleicht bezüglich beider Arten von Oszillationen dem Küstenklima, während das Klima von Hochthälern und Plateaux eine ausgesprochene Annäherung an das Kontinentalklima wahrnehmen lässt.

Alle diese klimatischen Sondereinteilungen leisten im gegebenen Falle wertvolle Dienste, aber auch die alten Zonen, bei deren Abgrenzung ausschliesslich das solare Klima mitzusprechen hat, werden niemals ganz überflüssig gemacht werden können. „Es dürfte sich," bemerkt Hann [47], „kein Einteilungsgrund finden lassen, welcher die einzelnen Zonen so begrenzen würde, dass diese Grenzen für alle klimatischen Elemente gelten könnten."

Die nun folgende Aufzählung thermisch merkwürdiger Oertlichkeiten macht nicht entfernt auf irgend welche Vollständigkeit Anspruch, die ja in dem hier durch die Umstände gegebenen engen Rahmen gar nicht anzustreben ist. Es kann sich vielmehr lediglich darum handeln, zu den bis dahin angestellten theoretischen Erörterungen einige Paradigmen nachzuliefern und namentlich gewisse Fälle eines auffallend extremen Verhaltens des in Frage kommenden klimatischen Faktors vorzuführen.

Das tropische Afrika ist ziemlich gleichmässig temperiert; überall ist die Hitze eine drückende, umsomehr, da die Luftfeuchtigkeit jene lästige Eigenschaft fördert, welche wir als Schwüle bezeichnen. Der stark kontinentale Norden ist noch schlimmer als der Süden daran, wie denn zumal Senegambien in dieser Hinsicht geradezu berüchtigt ist [48]. Auch für die Guineaküste gilt in der Hauptsache das gleiche, wie man u. a. aus den Schilderungen bei Oberländer und Büttikofer ersehen kann [49]. Etwas besser daran ist Kamerun [50], und zwar ist diese Besserung auf das Herantreten kühler Meeresströmungen an den afrikanischen Kontinent zurückzuführen. Die Verhältnisse Ober- und Niederguineas haben durch v. Danckelman [51] eine mustergültige Bearbeitung erfahren, aus welcher hervorgeht, dass die unerträglichste Hitze am unteren Kongo herrscht, wo aber doch die dann und wann eintretenden heiteren Nächte, mit starker Ausstrahlung, die ersehnte Abkühlung bringen. Der südlichste Ausläufer des tropischen Westafrika ist das von Pechuel-Lösche [52] erforschte Hereroland, das wenigstens an der Küste minder heiss ist, weil frische Seewinde aus Südwest die Luft auffrischen. — Was Ostafrika anlangt, so begegnen wir hier der auffallenden Thatsache, dass die höchsten Temperturen nicht in unmittelbarer Nähe des Gleichers, sondern bezüglich in der Nähe der Grenzen der Tropenzone beobachtet werden [53]; die durchschnittlich jene des Atlantischen Ozeans namhaft übersteigende Wassertemperatur des Indischen Meeres bewirkt, dass vorab südlich vom Aequator die Luft sehr warm ist, und dass hier das Tropenklima noch weit in jenes Gebiet übergreift, welches als subtropisch angesehen werden sollte, wie denn an der Küste von Natal Ananas, Bananen, Kaffee und sogar Zuckerrohr noch im Freien reifen und gedeihen [54]. Echt äquatoriale Wärmeverhältnisse bekundet die Küsteninsel Sansibar mit kaum 3° mittlerer jährlicher Temperaturschwankung [55]; stärker wird dieselbe schon auf Madagaskar, wo sogar einmal, allerdings in 1400 m Seehöhe, das Thermometer auf —4° sank [56]. Im Inneren Ostafrikas werden die jährlichen und täglichen Temperaturdifferenzen natürlich grösser, und der gebirgige Charakter des ziemlich rasch ansteigenden Landes macht das Klima mancher innerer Bezirke, unter denen Usambara am meisten ins Gewicht fallen dürfte, erträglicher [57]. Im Zambesigebiete und im Maschonaland ist winterliche Kühle ein deutliches Zeichen dafür, dass man sich schon an der Grenze der Tropen befindet [58]; ja die Nächte sind sogar durchaus kühl und können empfindlich kalt werden. Gegen Norden hin behauptet jedoch das Tropenklima sein Recht mit grösster Strenge, so dass die südliche Westküste des Roten Meeres, und hier wieder am meisten die Inselstadt Massauah, zu den heissesten Partien der Erde gerechnet werden muss [59]. — In Habesch tritt der Einfluss der Bodenkonfiguration so einschneidend hervor, wie sonst nirgendwo in Afrika; die Arbeiten von K. Dove [60] und Nordmann [61] enthalten die einschlägigen Nachweisungen. In der Quolla, den heissen, sumpfigen Niederungen, herrscht das drückende Tropenklima mit voller Kraft; auf der ersten Terrasse, der Woina Dega (Wein-

region), hat ein subtropisches Klima Platz gegriffen, so dass an den höheren Gebirgshängen Mitteltemperaturen, ähnlich denjenigen von Unteritalien, gemessen werden; die Hochlandsregion oder Dega schlehtweg reicht endlich bis in eine alpine Höhenzone hinein. Die seit Kosmas Indopleustes (I, S. 138) vielbesprochene Frage, ob die abyssinischen Gebirgshäupter zum Teile mit ewigem Schnee gekrönt seien, wird von Rohlfs [62] bejaht. Dass auch das innertropische Afrika seine Schneeberge besitzt, ist bekannt genug (I, S. 400), allein die Schneegrenze verläuft hier doch in einer Höhe, bis zu welcher sich die abyssinischen Alpen nicht erheben. Die Wärmeverteilung im tropischen Aequatorialgebiete Afrikas bietet zu besonderen Bemerkungen wenig Anlass; gegen Norden zu, im Sudân, mischen sich schon unter niedrigen Breiten subtropische Züge ein. Die Sommerhitze trocknet die Gewässer auf; schon zu Ende Januar geben die Brunnen Kordofâns kein Wasser mehr her [63], und die Flüsse der Haussaländer sah Staudinger [64] in eine Kette von Wassertümpeln zerfallen, den mächtigen Binuë allerdings ausgenommen.

Wir wenden uns jetzt dem tropischen Asien zu. Südarabien ist zwar ein sehr heisses Land, aber die Nächte sorgen hier für Abkühlung, und in Sanâ, in ungefährer Höhe von 2200 m, erlebte Glaser [65] mehrfach nächtliche Eisbildung. Die höchste von diesem Reisenden bestimmte Temperatur war 34°. — Von Vorderindien gehört strenge genommen nur die eigentliche Halbinsel zur Tropenregion, indessen zeigt auch die Gangesebene keine erheblich abweichenden Züge, und auch noch im Pandjâb, dessen winterliche Regen ihm einen mehr subtropischen Stempel aufdrücken sollten, ist die Tageshitze eine so ungeheure, dass nach 7^h morgens, wenigstens vom März bis Juni, kein Europäer gerne die Wohnung verlässt [66]. In Bureaux und Speisezimmern muss unausgesetzt der Punkah, der von einem eigenen Bediensteten gehandhabte Riesenfächer, in Bewegung erhalten werden, um dem Eingewanderten die Existenz zu ermöglichen. Ein gleiches gilt auch für Hinterindien während der Zeit, in der die Sonne nördlich vom Aequator verweilt [67]. Ein besonders extremes Klima ist dasjenige von Tongking [68]. „Die Wärmeverhältnisse der tropischen Inseln des Grossen Ozeans werden durch die ausserordentliche Gleichmässigkeit einer hohen Temperatur charakterisiert“ [69].

Das tropische Zentralamerika, Mexiko mit eingerechnet, ähnelt in klimatischer Hinsicht einigermassen dem abyssinischen Hochlande (s. o.), indem der dort schon hervorgetretene Erfahrungssatz sich hier noch voller bestätigt: Die Wärmeverteilung hängt ab von der Konfiguration des Bodens. Sowohl im Norden wie im Süden der die beiden Hauptteile der Neuen Welt verbindenden Landbrücke gibt es drei orographische Klimazonen [70], deren jede die Neuspanier mit einem besonderen Namen belegt haben: die meist flache und sumpfige, mit tropischen Buschwäldern bestandene Küstenzone (Tierra caliente; 20—25° mittlerer Jahrestemperatur); die mittlere, für Kulturpflanzungen besonders geeignete Zone (Tierra templada [= temperata]; 15—20°); endlich die dem Hochplateau angehörige obere Zone (Tierra fria [= frigida]; 10—15°). In Mexiko werden die Hochgebirgsgegenden noch besonders als Frostland (Tierra helada [= gelida]) unterschieden. Speziell für Guatemala sind die Höhengrenzen dieser Zonen durch Sapper [71] genauer angegeben worden. Die Tierra caliente bietet, vom gesundheitlichen Momente ganz abgesehen, ihrer dumpfen Schwüle wegen selbst für den Autochthonen nur einen höchst ungemütlichen Aufenthalt dar. Um so günstiger liegen die Dinge auf der mittelamerikanischen Hochfläche, wo von allen Tropengebieten der Welt die erschlaffende Wirkung des heissen Erdgürtels sich weitaus am wenigsten äussert. Von Costarica sagt dessen gründlichster Kenner, M. Wagner [72]: „Das Klima, dessen herrliche Milde einzig durch die Höhenverhältnisse seines Bodens bedingt ist, gestattet für den Nordländer den freiesten Gebrauch seiner Körperkräfte, obgleich das Land der tropischen Zone angehört.“ — Auch für die westindischen Inseln trifft die Regel zu, dass die Hitze sich mit der Erhebung über den Meeresspiegel bedeutend abschwächt. Auf Haiti wird, schon von 1000 m Seehöhe an, die Nachtkühle eine so empfindliche [73], dass man zu allen nur möglichen Abwehrmitteln zu greifen gezwungen ist.

Das tropische Südamerika weist in seinem östlichen, flachen Teile mit die höchsten Hitzegrade auf, welche die Erde kennt. Das feuchtheisse Klima Cayennes hat Dove [74] geschildert; an der Mündung des Amazonas (Pará) sinkt [75] die mittlere Morgentemperatur (um 6^h) nicht unter 22°. An der pazifischen Küste hält sich die Hitze zumeist in massvolleren Grenzen, und im Bereiche

der Kordilleren sind sehr niedrige Temperaturen so wenig selten, dass z. B. bei der bolivianischen Stadt Potosí die Bäche zu jeder Jahreszeit nachts gefrieren [76]. — Von Nordamerika reichen nur kleine Stücke von Texas und Louisiana, hauptsächlich aber die ganze Halbinsel Florida bis nahe an die Grenze der tropischen Zone heran; dieser eignet denn auch ein klassisches Tropenklima, dessen Besonderheiten von Lanier [77] geschildert worden sind. Der im Kriege Spaniens mit der Union viel genannte Seehafen Key-West hat 25° mittlere Jahrestemperatur und nur minimale Wärmeschwankungen.

Die Temperaturverhältnisse der gemässigten Zonen im einzelnen zu kennzeichnen, würde eine wenig lohnende Aufgabe sein. Entweder gehen aus den für einen beliebigen Ort angelegten Temperaturtabellen überhaupt keine in höherem Grade bemerkenswerten Eigentümlichkeiten hervor, oder es sind doch dieselben vermittelst der von der allgemeinen Klimatologie verfügbar gemachten Leitsätze leicht zu erklären. Die in §. 6 und 7 von Kap. VII nachgewiesenen Gegensätze reichen dazu fast in allen Fällen hin; wenn wir z. B. hören, dass der Sommer des Pamirhochlandes ganz dem Winter Grossbritanniens entspreche [78], so nimmt uns das in keiner Weise wunder, weil eben zum selbständigen Charakter des Höhenklimas noch derjenige eines auf das schärfste ausgesprochenen Binnenlandklimas hinzutritt. So erklären sich auch ganz von selber die Zustände in Neu-Seeland [79], dessen Winter so warm und frühlingsartig ist, dass das Wachstum der Pflanzen kaum eine Unterbrechung erleidet. Auch die Temperaturen im subpolaren und eigentlich polaren Klima sind uns bereits soweit bekannt, dass wir uns an einigen Nachträgen genügen lassen können.

Ein höchst merkwürdiges Klimagebiet repräsentiert die Halbinsel Alaska, in deren Bereiche die tiergeographische Merkwürdigkeit des Zusammenlebens von Walrossen und Kolibris (s. übrigens auch S. 300) den Reisenden in Staunen versetzt. Der kleine farbenprächtige Vogel hat nach Krause [80] in einer von Eis und Schnee starrenden Umgebung nichts von seiner Munterkeit eingebüsst. Am oberen Yukon bringen Dezember und Januar zwar exorbitant niedrige Thermometerstände, aber sie werden, weil die Luft ruhig ist und auch kein Schnee zu fallen pflegt, weniger schwer empfunden [81], wie denn überhaupt der grimmigste Feind des Nordpolfahrers nicht die Kälte an sich, sondern nur die mit heftigem Winde vergesellschaftete Kälte ist. Hierüber machen die meisten Entdecker nähere Angaben; wir verweisen insonderheit auf diejenigen von Hayes [82] und Payer [83]. — Die Rieseninsel Grönland, im Inneren ganz vereist und wahrscheinlich Sitz (S. 274) eines Kältemaximums, hat zwei ganz verschieden temperierte Küsten; Westgrönland steht noch unter dem Einflusse des Golfstromes, so das Kane noch unter 79° Polhöhe eine ziemlich reiche Flora und Insektenfauna vorfand [84]; Ostgrönland dagegen ist durch einen Polarstrom zur Eiswüste mit überaus geringen Temperaturen gemacht worden. — Der spitzbergische Archipel hat ein gemässigtes Klima, und es herrscht dort auch, ganz wie in den gemässigten Zonen, eine für die Polarregion ungewöhnliche Unbeständigkeit des Wetters [85]; Nowaja Semlja hat eine ungemein kalte Ostseite, und der bekannte baltische Naturforscher v. Bär soll sogar die Karische See als „Eiskeller Europas" bezeichnet haben [86], was aber nach den Aufklärungen [87] der in jenem Meere mit dem Thrantierfange beschäftigten Seeleute, zumal Johansens, viel zu weit geht. Das Eismeer der nördlich von Franz-Josephsland gelegenen Gebiete, soweit wir damit durch Nansens Reise bekannt geworden sind, zeichnet sich durch so enorm niedrige Sommertemperaturen aus [88], dass man sich ganz an antarktische Verhältnisse gemahnt fühlt. Doch fehlt es auch in dieser besonders ungastlichen Region nicht an besseren Tagen; Johansen, der Begleiter Nansens, erzählt [89], dass er am 25. Juni 1895, unter 82° 4′ n. Br., eine Nacht barfuss und in Hemdärmeln ausserhalb des Zeltes habe zubringen können. — Ueber die Wärmeverhältnisse Ostasiens, wo sich ja die niedrigsten Temperaturen, die wir kennen, ergeben, wurde schon (S. 274) gesprochen. Selbst im höchsten Norden stösst man aber noch auf geschützte Thäler,

welche der Vegetation nicht ermangeln und sich oft warmer Winde — Föhn? — erfreuen, die binnen kurzer Zeit eine Temperatursteigerung bis zu 46° herbeiführen können [90]. — Von der Antarktis (S. 297) wissen wir leider, soweit die Wärme in Frage kommt, fast gar nichts sicheres, da die spärlichen Beobachtungen ausschliesslich auf die gute Jahreszeit entfallen. Kenntnis des Wintertemperaturen, wie sie auf einer grösstenteils mit Wasser bedeckten Halbkugel sich gestalten, erklärt Hann [91] für ein besonders dringendes Erfordernis der Wissenschaft.

§. 5. **Luftdruck- und Windverhältnisse der Erde.** Für die Kenntnis der für die einzelnen Länder und Meere massgebenden Luftströmungen hat Coffin eine dauerhafte Grundlage geschaffen; sein Werk [92], welches er selbst nicht mehr zu Ende zu führen vermochte, und welches nach seinem Tode von seinem Sohne und von Woeikow bearbeitet und herausgegeben wurde, stützt sich auf ein ungeheueres Material. Doch bezog sich dasselbe allerdings wesentlich nur auf die Meere und auf den heimischen Erdteil, auf Amerika. Von Coffin ging dann wieder Supan [93] aus, der die erste systematische Darstellung einer geographischen Meteorologie der Winde lieferte. Durch die Handbücher von Woeikow und Hann ist dann neuerdings noch sehr viel zur Aufhellung einzelner Fragen beigetragen worden. Ueber die wichtigsten Ergebnisse einer vielseitigen Forschung hat dieser Paragraph sich zu verbreiten.

a) **Die Weltmeere.** Der Atlantische und der Pazifische Ozean sind uns bekannt als jene Meere, innerhalb deren die Passate am reinsten zum Ausdruck kommen, wogegen der Indische Ozean vom Wechselspiele der Monsune beherrscht wird. Die einfachen Grundgesetze, von denen diese regelmässigen Winde abhängen, sind früher (Kap. VI, §. 6) im Zusammenhange erörtert worden. Nunmehr kann es sich nur um eine genauere Schilderung der einschlägigen Verhältnisse handeln.

Für das Mittelstück und für den nördlichen Teil des Atlantischen Ozeans haben bezüglich Toynbee [94] und Brault [95] eine treffliche Windcharakteristik geliefert. Im tropischen Gürtel will vor allem die an den Sonnenstand gebundene Wanderung der Kalmenzone beachtet sein (S. 198), und für den Grossen Ozean liegen die Verhältnisse ähnlich, soweit nicht durch Inseln und Meeresströmungen geringfügigere Veränderungen bedingt erscheinen. Ausserdem bewirken die in den westlichen Abschnitt der Südsee eindringenden Monsune stärkere Abweichungen von der über dem Atlantik am reinsten sich offenbarenden Gesetzmässigkeit. Wir werden diesem Sachverhalte bei Australasien näher zu treten haben. Jene allgemeine Zirkulation der Atmosphäre, deren Wesen in Kap. VI, §. 17 klarzustellen versucht wurde, bewirkt, dass im Atlantischen Ozean zunächst drei Windzonen deutlich abgegrenzt werden können: eine nördliche Zone der Westwinde (65° bis 35° n. Br.), die Passat- und Doldrumzone (+35° bis −35°) und eine südliche Zone der Westwinde, welche etwa bis zum 60.° s. Br. sich ausdehnt. Der Norden weist, wie Hoffmeyer [96] darthat, im Winter hauptsächlich drei Zentren geringsten Druckes auf, von denen das bedeutendste südwestlich von Island zu liegen pflegt, während östlich von jener Insel gegen Spitzbergen zu und westlich gegen die Davis-Strasse hin Depressionen geringeren Betrages sich ausbreiten. Von der augenblicklichen Lage dieser drei Aspirationsherde erweisen sich wesentlich die über Nordeuropa dahinziehenden Winde abhängig [97]. Eben jene Stellen aber wechseln ihre Position nur dann, wenn auch die grossen Maxima oder Aktionszentren dies thun (S. 182), und darum kann jene gewaltige Antizyklone, deren Stammsitz zwischen den Azoren, den Nordkanarien und der pyrenäischen Halbinsel liegt, deren Westgrenze aber auch noch die Bermudas berühren kann, mit Fug als oberster Witterungsregulator von Westeuropa angesprochen werden [98]. Wandert sie nach Norden, so hat man mit feuchtkalten Nord- und Nordwestwinden zu rechnen.

Die Klimatologie des Indischen Ozeans hat unsere Deutsche Seewarte in dankenswerter Weise gefördert durch Atlas und Segelhandbuch [99], welch ersterer hauptsächlich durch Köppens Mühewaltung zu stande kam; daran reiht sich eine zusammenfassende Erörterung von Davis [100]. Die 22. Karte des Atlasses gibt eine Scheidung der einzelnen Windgebiete. Ausser der nord- und südäquatorialen Monsunzone ist auch je ein ausserhalb des Bereiches der Jahreszeitenwinde gelegener Bezirk der Passate und der regelmässigen Westwinde bestimmt erkennbar.

b) **Die Polarzonen.** Ueber dem supponierten antarktischen Kontinente scheint eine umfassende Antizyklone zu ruhen, welche für den Sommer der eigentlichen Polarkalotte ruhiges, schönes Wetter verbürgt [101]. Die arktische Zone entbehrt der bei ihren Antipoden zu Tage tretenden Regelmässigkeit [102], weil Winde und Luftdruck in erster Linie durch die Verteilung von Wasser und Land, d. h. durch die in diesem Wechsel begründeten Erwärmungsunterschiede reguliert werden.

Im südlichen Zirkumpolargebiete nimmt der Luftdruck auf allen Meridianen gleichmässig gegen den Polarkreis hin ab; die Grenze, von welcher ab dann wieder die erwähnte Steigerung eintritt, lässt sich noch nicht scharf festlegen. In jenem Gürtel hausen die stürmischen Zyklonalwinde, deren alle Seefahrer gedenken, und zwar ist die Tiefe und Energie der Depressionen oft (S. 297) eine überraschende. — Genauere Einsicht in die arktischen Luftdruck- und Windverhältnisse von einem höheren Standpunkte aus ist erst von tieferem Studium des geographischen und jahreszeitlichen Charakters der Windscheide (S. 184) zu erwarten. Die geradezu entsetzlichen Stürme, die in den Berichten aller Nordpolfahrer ihre Rolle spielen, sind an eine nicht allzuweit über den Polarkreis hinausreichende Zone gebunden, und nur an einer Stelle geht ihr Verbreitungsbezirk weiter nach Norden [103], nämlich im nordeuropäischen Eismeere.

c) **Europa.** Will man sich von den europäischen Winden, die ja als Winde eines gemässigten Erdgürtels von vornherein nicht als besonders regelmässig angesehen werden dürfen, ein deutliches Bild machen, so hält man sich am besten an die von Woeikow und Supan eingeführte meteorologische Kontinentalachse Europas [104]. Man erhält sie, wenn man auf einer Isobarenkarte die ausspringenden Stellen der zwischen 40 und 50° n. Br. verzeichneten Ortskurven gleichen Druckes durch einen Zug verbindet; der dadurch markierte Sattel hohen Druckes ist der arktischen Windscheide (s. o.) vergleichbar. Derselbe durchschneidet Steiermark zwischen Cilli und Graz, durchzieht weiterhin Ungarn und Galizien, wird aber in der weiten, gleichmässigen Ebene des russischen Reiches nach und nach undeutlich. Mit den Jahreszeiten wechselt dieser barische Kamm seine Lage. Die Nähe des Meeres, die oroplastischen Verhältnisse und gar viele andere regionale Besonderheiten ändern nun freilich die Druck- und Strömungsverhältnisse ganz erheblich ab, und es bilden sich örtliche Winde in grosser Zahl heraus, zu deren Erklärung wir zunächst auf die §§. 5, 8, 9 und 10 von Kap. VI zurückzugreifen haben.

Skandinaviens Klima steht ganz unter der Einwirkung der Zugstrassen der Minima (Kap. VI, §. 11); die von den Depressionen ausgelösten südlichen und südwestlichen Winde haben bezüglich der Milde, welche Norwegens Westküste auszeichnet, mindestens ebensoviel Verdienst, wie der gewöhnlich allein dafür in Anspruch genommene Golfstrom, und zwar ist die Wärme des norwegischen Winters dann die grösste, wenn sich eine kräftige Depression zwischen Spitzbergen und der skandinavischen Halbinsel entwickelt hat [105]. Schwedens kontinentaleres Klima kennt weit mehr Nordwinde, und auch Zeiten grösster Windstille gehören

nicht zu den Seltenheiten. Die günstige Situation von Schonen wird recht klar beleuchtet durch die von Curman [106] für den Badeort Lysekil bei Göteborg gezeichnete Rose der Windfrequenz, welche ein weit kräftigeres Vorherrschen der Westwinde zu erkennen gibt, als man solches von den doch auch gegen Westen freien klimatischen Kurorten Sylt und Helgoland aussagen kann. — Grossbritannien kennt fast nur äquatoriale Luftströmungen, welche namentlich im Herbst und Winter dem Inselreiche sein allen Temperaturexzessen feindliches Klima gewährleisten [107]. — Die Gliederung Frankreichs bewirkt, dass es in einen atlantischen und in einen mittelländischen Abschnitt zerfällt [108]; die Grenze beider ist durch die Cevennen, das Zentralplateau und die burgundischen Hügelketten bestimmt. Das Departement der Vogesen rechnet Grad [109] klimatisch zum Elsass, welches jedoch auch kein einheitliches Klimagebiet darstellt, sondern im Gebirge ganz andere Züge wie in der Rheinebene zur Schau trägt. Das mediterrane Küstenland muss sich die sehr eigenmächtige Herrschaft des Fallwindes Mistral (S. 212) gefallen lassen. — Die Schweiz wird, wenigstens in ihren gebirgigen Partien, von den grossen Luftströmungen Europas weniger berührt, und Kalmen sind häufig. Die Streichungsrichtung der Hauptgebirge lässt vorwiegend Südwest- und Nordostwinde zur Geltung kommen. Natürlich finden sich allenthalben die charakteristischen Berg- und Thalwinde, die sich auch (S. 196) mit Land- und Seewinden kombinieren können, und warme Fallwinde sind keineswegs bloss an bestimmte Gegenden und Thalrichtungen gebunden (S. 207). Manche Lokalwinde haben eine gewisse Berühmtheit erlangt, so Bise und Bornand im östlichen Seebecken des Leman [110]. — Die nördlichen Alpenländer Oesterreichs werden von Supan [111] dem westeuropäischen Klimagebiete zugezählt; z. B. herrscht auf dem Schafberggipfel entschieden der Westwind vor; die Karawanken und Krainer Alpen hingegen, der Kontinentalachse (s. o.) schon sehr benachbart, bilden eine Wind- und Wetterscheide, und nur der Thalriss des Fella- oder Kanalthales (Tarvis-Pontebba) macht das südwestliche Kärnten zu einem Tummelplatze wechselnder Winde. — Deutschland wird durch eine aus Vorpommern über Berlin zum Obermain gezogene Linie, eine Kontinentalachse im kleinen, in zwei Hälften zerlegt, deren westliche den vom Atlantik heranstreichenden Depressionen ganz offen liegt; in der Osthälfte sind Nordwestwinde häufig, und zwar werden sie vom Winter zum Sommer häufiger [112]. — In Schlesien und Posen tritt schon der anemische Charakter Südosteuropas allmählich in seine Rechte. Speziell für erstere Provinz gilt nach Partsch [113] als Regel, dass feuchte Westwinde das ganze Jahr hindurch vorherrschen, in der winterlichen Jahreshälfte mehr aus Südwest, in der sommerlichen Jahreshälfte mehr aus Nordwest kommend. — In Ungarn gleicht der westliche Teil mehr den Mittelmeerländern, während für Ostungarn eine Art von Monsunwechsel charakteristisch ist; der Gebirgskranz Siebenbürgens sichert dieser Provinz die Eigentümlichkeit, welche lokal ausgeprägte Winde immer mit sich bringen. Erwähnenswert ist die Koschawa, ein von Umlauft [114] beschriebener, sehr heftiger Südostwind, der in den Aequinoktialwinden das östliche Ungarn durchbraust und sich auch morphologisch bethätigt (vgl. Abt. VIII, Kap. IV). Wer sich im einzelnen für die Windverhältnisse Pannoniens interessiert, wird die sehr gründlichen Arbeiten von Hegyfoky [115] zu Rate ziehen müssen. — Russlands Norden nimmt im Winter am nordatlantischen, im Sommer am asiatischen Windsysteme teil [116]; an den Meeresküsten finden örtliche Durchbrechungen des nur für das Binnenland strenge gültigen Gesetzes statt, z. B. gibt es in Finnland Winde vom Monsuncharakter (Kap. VI, §. 6). Im südöstlichen Teile des Kaiserreiches macht sich die Kontinentalachse (s. o.), wiewohl minder deutlich ausgeprägt, wieder geltend; sie lässt sich ungefähr von der Landenge von Zaritzyn (zwischen Don und Wolga) aus gegen das bessarabische Kischenew hin verfolgen. — Die Konstanz der Sommerwinde über dem Archipelagus und den ihm umgebenden Ländern ist uns (S. 201) bereits bekannt, wogegen im Winter durch die von Hoffmeyer [117] erkannte Tendenz der zahlreichen abgeschlossenen Meeresbecken, lokale Zyklonen zu entwickeln, ein wechselvolles Spiel der Winde sich herausbilden muss. Im Dezember und Januar hat z. B. Athen gewöhnlich Nordwind [118]; an den Dardanellen weht durch zehn Monate im Jahre der von Maclaren [119] erforschte Ventus Hellesponticus, dessen Richtung man nach Schliemann [120] auch in dem Umstande sich ausprägen sieht, dass in der Ebene von Troas die Bäume ausnahmslos gegen Westsüdwest von der Vertikalen abgebeugt erscheinen. — Supan [121] betrachtet die Poebene als die Vermittlerin des nord- und südeuropäischen Windgebietes im Winter; für ganz Norditalien lässt sich überhaupt ein angenähertes Gleichgewicht der Winde aus nördlichen und südlichen Quartieren

konstatieren. Längs des ganzen tyrrhenischen Küstengebietes, von San Remo bis Neapel, tritt eine an die Passate gemahnende Abhängigkeit der Windrichtung vom wechselnden Sonnenstande hervor. Der Süden der Halbinsel wird vielfach vom Scirocco heimgesucht, der ganz und gar nicht mit dem Föhnwinde gleichen Namens (S. 210) verwechselt werden darf [122]; er ist zwar warm, aber meistenteils feucht und typisch für das Winterhalbjahr der europäischen Subtropenlandschaft [123]. Doch kennen Sizilien und Süditalien noch eine dritte Art von Scirocco; dieser weht heftig und bringt nebst gesteigerter Wärme auch viel Staub mit. In keinem Monate fehlt er ganz. — Was die pyrenäische Halbinsel anlangt, so bestehen dort drei winterliche Windgebiete, deren Grenzlinien durch die Scheidegebirge bestimmt werden [124]. Im Sommer dagegen stellt die Halbinsel mehr einen einheitlichen Komplex dar, indem der Luftdruck von den Küsten gegen das Innere, als gegen das Aspirationszentrum, hin abnimmt. Der Solano ist ein Regen bringender Ostwind, der Leveche dagegen, von Hellmann [125] genauer untersucht, ein heisser und trockener Wind, der an der Südküste weht und gar nicht tief ins Land eindringt, dem Scirocco Italiens vergleichbar. Malaga bezeichnet angenähert den westlichen Grenzpunkt seines Wirkungsbereiches.

d) **Afrika.** Die Wanderung der Kalmen, welche der Sonne folgen, ist für eine grosse barometrische Depression über dem Kontinente und damit weiterhin auch für die Winde massgebend (S. 295). So entstehen je drei Windzonen auf je einer Seite des Aequators, welche jeweils den Passaten, dem Wüstengürtel und den subtropischen Verhältnissen (S. 298) sich anpassen. In der westlichen Sáhara wiegt Nordost vor, während gegen den Nil hin, wie auch in Aegypten, Nordwest und Nord die häufigsten Winde sind. Am oberen Nil und im grössten Teile des Sudân variiert die Windrichtung mit der Trocken- und Regenzeit oder, soweit davon die Rede sein kann, mit dem Wechsel von Sommer und Winter. Regionale Winde geben nicht selten für einen Landstrich den Ton an.

Regelmässige Winddrehung, im Sinne der Doveschen Regel (S. 179), ist an der Danakilenküste [126] und auch in Südafrika [127] festgestellt worden. An der Westküste stösst man auf regelmässige Westwinde, die z. B. Stanleys Reise den Kongo hinab sehr erschwerten [128]. — Von Winden, welche an bestimmte Gegenden gebunden sind, sei der Leste — nach Hellmann (s. o.) „Le Este" — erwähnt, der auf Madeira als Wind der kühleren Monate bekannt ist und selbst nach Passieren eines breiten Meeresarmes noch seine aus der Wüste mitgebrachte Trockenheit beibehält. Er ist also ein Wüstenwind [129], wenn auch den Umständen nach kein so ausgesprochener, wie der Samum (Simum; in Aegypten Chamsin), der in ganz Nordafrika mit Staub- und Sandwolken vergesellschaftet auftritt (vgl. S. 20 und 204). Das Thermometer steigt, wenn er einsetzt, rapid, während die relative Feuchtigkeit rapid sinkt. Das Wort Chamsin bedeutet die Zahl 50, und es ist damit die vulgäre Ansicht der Aegypter über die Dauer dieses Staubsturmes angedeutet. — An der Goldküste ersetzt den Samum der Harmattan oder „Fettwind", so genannt, weil die Neger seiner austrocknenden Wirkung durch ausgiebige Fetteinreibung entgegenarbeiten. Er scheint für gewöhnlich, eben weil er des tropischen Wassergehaltes entbehrt, eher kühl denn warm, aber aus v. Danckelmans Bearbeitung [130] der in Togo angestellten Beobachtungen ergab sich, dass wenigstens im Inneren dieses Schutzgebietes die Temperatur an Harmattantagen über das Mittel hinausgeht. — Auffällig ist der Gegensatz der vorwaltenden Windrichtung an relativ nicht weit auseinanderliegenden Orten Innerafrikas. Bornu ist ein Gebiet der Ostwinde, denn allenthalben fand Nachtigal [131], dass den grössten Teil des Jahres hindurch konstant östliche Winde wehen, deren Regelmässigkeit nur durch die Regenzeit einigermassen beeinträchtigt wird.

e) **Asien.** Während das Land jenseits des Ural im Sommer ganz mit dem europäischen Russland in meteorologischer Beziehung übereinstimmt, macht sich weiter östlich das Kältezentrum, und noch weiter gegen die pazifische Küste hin der gleich nachher zu besprechende

Monsun fühlbar. Die Luftdruckverteilung Westasiens steht, samt den Winden, unter dem Einflusse des Mittelländischen resp. Schwarzen Meeres, wie von diesem subtropischen Lande zu erwarten war; im einspringenden Winkel des Pontus führt der Luftaustausch, den Land- und Seewinde mit sich bringen, das grosse Wort [132]. Für Indien und ganz Ostasien bilden andererseits Winde mit halbjährigem Richtungswechsel die Norm; nur freilich handelt es sich keineswegs um ein einheitliches Monsungebiet, sondern um verschiedene Windprovinzen, in deren jeder der Monsuncharakter sich auf seine besondere Weise offenbart.

Der Schnee- und Staubstürme, welche bezüglich für die weiten Flächen Sibiriens und Zentralasiens so charakteristisch sind, ist bereits (S. 217 ff.) Erwähnung geschehen. In weitem Umkreise um das winterliche Kältemaximum herum herrscht in der kalten Jahreszeit fast völlige Windstille, welche den Frost, der bei bewegter Luft (S. 304) kaum auszuhalten wäre, ganz erträglich macht; erst im Frühling wehen die Winde heftiger [133]. — Die Winde Vorderindiens sind insbesondere von Blanford [134] studiert worden. Wenn wir die Thatsache, dass die Monsune nicht nur die hindostanische Halbinsbel beherrschen, sondern auch so weit nach Osten übergreifen, richtig würdigen wollen, thun wir immer am besten, auf den Osten des Indischen Meeres unser Augenmerk zu richten, von welchem früher (S. 305) nicht besonders die Rede zu sein brauchte. Meinardus, der sich auf die Vorarbeiten von Blanford (s. o.) und Dallas [135] beziehen durfte, kennzeichnet in folgender Weise [136] die Genese der für die malayischen Archipele massgebenden Luftbewegung. „In allen Monaten des Jahres besteht unter dem Aequator im östlichen Teile des Indischen Ozeans die Neigung zu einem westöstlichen Luftdruckgefälle; von Dezember bis Mitte März verbindet sich damit ein nordsüdlicher, von Mitte April bis Oktober ein südnördlicher Luftdruckgradient. Aus dieser Verbindung resultieren mittlere Gradientenrichtungen nach dem südöstlichen Gradienten im Südsommer, nach dem nordöstlichen im Nordsommer. Ein permanentes Luftdruckgefälle verbindet sich mit einem jahreszeitlich wechselnden. Jenes tritt dann allein in Wirksamkeit, wenn dieses, das meridionale, gerade seine Zeichen wechselt, d. h. im November und Mitte März bis Mitte April.“ Wenn wir dieses Verhältnis im Auge behalten, so haben wir den Schlüssel für die thatsächlichen Angaben, welche sich anreihen. Die Lage der Dinge ist deshalb eine einfachere, weil der Riesenwall des Himálaya eine so gut wie unüberschreitbare Windscheide zwischen der südasiatischen Zirkulation auf der einen, der zentral- und nordasiatischen auf der anderen bildet [137]. In Südostasien ist während des Winters ein regelmässiger Nordost der normale Wind [138], und zwar ist derselbe kräftiger als in Vorderindien; seine Energie nimmt gegen Nordosten hin zu, weil allmählich die Schutzwand, welche das kalte Nordasien von den warmen tropischen Gewässern trennt, sich erniedrigt und ganz verschwindet. Ueber der China-See weht also der NE-Monsun mit grosser Stärke, um südlich vom Aequator zuerst in einen Nordwind uud dann in den NW-Monsun der Sunda-Inseln überzugehen, von dessen Charakter Blink [139] eingehend gehandelt hat. Auch der weite Flächenraum Chinas unterliegt noch dem Wechselspiele der Halbjahrwinde; „das asiatische Monsungebiet reicht aus den Tropen herauf und fasst noch den ganzen Osten Asiens in sich“ [140]. Im Winter dreht sich der Wind von NNW über NE und ENE im Frühling und Sommer, während im Herbst dieselbe Drehbewegung, nur im umgekehrten Sinne, vor sich geht. Ausgenommen die östliche Mongolei und das Steppengebiet des Lop-Noor sind die zentralasiatischen Hochländer der Schauplatz einer von West kommenden Luftströmung [141]. Ueber die zu vermutende Verlängerung der meteorologischen Achse Woeikows (S. 306) nach Turkestan hinein ist man noch zu keiner rechten Klarheit gekommen.

f) **Australien.** Der tropische Norden Neuhollands ist dem Monsunwechsel unterworfen. Südlich vom Wendekreise lagert über der weiten Steppenregion (vgl. S. 215) hoher Luftdruck, doch verschiebt sich die Zone des Maximums mit dem Sonnenstande. Die Windrichtungen an den Küsten tragen im Sommer den zyklonalen, im Winter den antizyklonalen Charakter [142].

Die Nordküste des Kontinentes erkennt die Herrschaft des NW-Monsuns nur im Februar vollkommen an; bereits im März ist die Regelmässigkeit durch das Auftreten der zu den Passaten zu zählenden, vom Stillen Ozean herüberwehenden SE-Winde wieder verloren gegangen [143]. — Die heissen Winde der Ostküste haben uns schon früher (S. 208) beschäftigt. — Neu-Seeland ist im Küstenlande der jährlichen Periode der Winde unterworfen, während die polynesische Inselwelt auch ihrerseits hauptsächlich von den Passaten, in geringerem Mafse auch von dem Wechsel der Land- und Seewinde abhängig ist. Man kann eine Grenzlinie zwischen den Verbreitungsgebieten des NW-Monsuns und des SE-Passates ziehen; längs dieser Grenzlinie herrschen, wie dies am Beispiele der Salomonen klar hervortritt [144], variable Winde und heftige Böen vor.

g) Nord- und Zentralamerika. Die klassischen Untersuchungen Coffins (S. 305) stellten fest, dass Nordamerika im Winter zwei Gürtel hohen Druckes aufweist. Abgesehen davon lassen sich fünf Windprovinzen mit ausgeprägter Eigenart unterscheiden. An der atlantischen Küste Mittelamerikas fühlt man allenthalben das Wehen des NE-Passates, der im Winter der Nordhalbkugel sogar auf die pazifische Seite übergreift [145]; Südwinde des Pazifischen Ozeans ziehen im nördlichen Sommer, wie Zöppritz [146] ermittelte, die Gestade von Costarica und San Salvador in ihr Bereich. Auch Köppen [147] hat diese Winde untersucht und gefunden, dass ihnen die Stetigkeit des Passates fehlt, dass vielmehr Kalmen ihr Regime mehrfach unterbrechen.

Ein Windgebiet für sich ist der atlantische Küstenstreif der Union; je weiter man südlich fortschreitet, um so häufiger werden äquatoriale Winde, bis endlich mehr und mehr nur Land- und Seewinde das Terrain behaupten. Südwinde beherrschen auch das Gebiet zwischen Alleghanies und Mississippi [148], vorab in Tennessee und Ohio; doch werden im Westen Polarwinde häufiger, und diese erringen den Sieg in der Prärieregion zwischen Mississippi und Felsengebirge; wenigstens gilt das für die kühlere Jahreszeit, während im Sommer warme Winde vom Golfe her einströmen [149]. Das Hochplateau partizipiert mehr an den Eigenschaften dieses dritten als des vierten anemischen Bezirkes, der pazifischen Unionsküste mit vorwaltenden SW-Winden, die auch schon den rauhen Winter Britisch-Columbias erwärmen. Coffins fünfte Provinz ist das arktische und subarktische (S. 200) Nordamerika. Hier sind NW-Winde sehr häufig, doch dringen atlantische SW-Winde bis an den Winipeg-See und an den oberen Mackenzie-River vor [150]. — Der NE-Passat weht an der mexikanischen Küste mit solch gleichmässiger Intensität, dass er die Umgebung von Veracruz in ein wahres Dünenhochgebirge (s. Abt. VII, Kap. II) verwandeln konnte [151]. — Die westindischen Inseln unterstehen das ganze Jahr hindurch der Einwirkung des in ENE gelegenen subtropischen Druckmaximums des Atlantik, entbehren der jahreszeitlichen Windveränderung und werden fortwährend vom NE-Passat überweht [152]. Als eine Eigentümlichkeit hebt Supan [153] die ziemlich weitgehende Gültigkeit der Doveschen Winddrehungsregel (S. 179) hervor.

h) Südamerika. Zwischen Südamerika, Südafrika und Südaustralien besteht eine unverkennbare Aehnlichkeit in den grossen Zügen der Luftbewegung, indem die Verschiebung der Zone stärkster Luftauflockerung die Winde bestimmt. Nur in dem Punkte macht sich ein gewichtiger Unterschied geltend, dass die Andenkette den freien Luftaustausch zwischen dem schmalen Weststreifen und dem geräumigen Flachlande des Ostens so gut wie unmöglich macht.

Im Westen markieren sich von selbst vier Abteilungen [154]: die südchilenische mit beständigen Aequatorialwinden; die nordchilenische, in welcher die warme Jahreszeit Polar-, die kalte Aequatorialwinde hat; die von Südwinden in ihrer Hitze gemilderte peruanische; endlich die feuchte Aequatorialzone mit WNW-Winden, die an der Küste auch oft in ganz reguläre Südweste übergehen. Eggers, mit dessen Schilderung der Verhältnisse Ecuadors uns

der nächste Paragraph bekannt machen wird, sagt darüber: „Die Sträucher, sowie fast immer gleicherweise die höheren Bäume, sind von dem steten scharfen Südwestwind oben schräg abgeschnitten, ganz wie auf den westindischen Inseln die Krone der Strandgewächse durch den Nordostpassat.“ — Der Osten ist, soweit nicht das brasilianische Küstengebirge einigen Halt gebietet, den vom Meere kommenden Winden offen. SO-Winde vom Passattypus sind somit sehr häufig. — Eine der windreichsten Erdgegenden ist Südpatagonien mit Feuerland. Für dessen Südspitze liegt eine exakte, von Hann [155] bearbeitete Beobachtungsreihe vor, aus der u. a. geschlossen werden muss, dass dort im Hochsommer (Januar) Sturm den normalen Zustand der Atmosphäre darstellt.

§. 6. **Feuchtigkeits- und Niederschlagsverhältnisse der Erde.** Neben Wärme, Luftdruck und Winden haben wir nun auch noch die Verteilung des atmosphärischen Wasserdampfes und die davon abhängigen Regenverhältnisse vergleichender Betrachtung zu unterziehen. Das gewaltige Material ward unter einheitlichem Gesichtspunkte zuerst gesammelt und gesichtet von Loomis und Woeikow [156]; dann wurde eine neue Durcharbeitung von Supan [157] ins Werk gesetzt, deren Ergebnisse in der Hauptsache als feststehend anzusehen und nur in untergeordneten Fragen noch zu berichtigen sein werden. Selbstverständlich nehmen wir diese Arbeit sowohl im ganzen, als auch in der Klassifikation der ombrischen Gebiete hier zur Richtschnur.

a) **Polargebiete.** Das arktische Becken ist niederschlagsarm, und dasselbe kann auch von der Antipodenzone, vom 60. Breitengrade an polwärts, ausgesagt werden [158]. Nur da, wo der Golfstrom seine Macht entfalten kann, wächst die Regenmenge; auf der Insel Jan Mayen wurden 486 mm jährliche Regenmenge (1882) konstatiert.

b) **Europas Westen und Inneres.** Ziemlich regenreich ist die gleichfalls den Ausläufern des Golfstromes unterworfene norwegische Westküste; minder stark werden die Fjelds und auch das schwedische Tiefland, das im Windschatten des skandinavischen Gebirges liegt, befeuchtet. Da, wo die See ihren Einfluss ungeschwächt äussert, ist die Witterung äusserst veränderlich; von Jotunheim z. B. berichtet Oyen [159], dass, wie bei uns am nämlichen Tage Regen und Schönwetter miteinander abwechseln können. Von dem Niederschlagsreichtum Grossbritanniens musste bereits (S. 299) die Rede sein. Nach Buchan [160] besitzt Schottland drei Maximaldistrikte des Regenfalles; das historisch berühmte Hochthal von Glencoe verzeichnet im Jahre 3242 mm, der Gipfel des 1343 m hohen Ben Nevis gelegentlich 3680 mm, in längerem Jahresmittel immer noch 3288 mm (der Westfuss dagegen nur etwa 2000). — Belgiens ombrisches Verhalten bildet den Gegenstand eines selbständigen Werkes von Lancaster [161], aus welchem zu ersehen ist, dass die Niederschlagshöhe von NW gegen SE wächst, weil sich der kondensierende Einfluss der Gebirge geltend macht; der Jahresdurchschnitt beträgt an der Küste 500, in den Ardennen 1200, im Hohen Venn 1300 mm. Holland hat eine solche Gebirgsumrandung nicht, und so ist denn auch, Blinks [162] Zusammenstellungen zufolge, die räumliche und zeitliche Regenverteilung eine wechselvollere; in den nordwestlichen Niederlanden fällt, wenigstens im Herbst, der meiste Regen an der Nordseeküste, und gegen SE wird eine Abnahme bemerkbar. Die Bretagne ist nach Angot [163] unerwartet regenarm; weiter südlich fällt stärkerer Niederschlag, und dass einzelne Randgebiete der pyrenäischen Halbinsel ungeheuer regenreich sind, hat schon früher (S. 299) betont werden müssen. Allenthalben im Mittelmeergebiete ist die Befeuchtung der Westküsten eine ausgiebigere, als die der Ostküsten; ja im südlichen Dalmatien gibt es sogar noch mehr Regen, als an der schottisch-englischen Grenze. Vom Alpenlande geniesst das Friaul den zweifelhaften Vorzug, die innigste Bekanntschaft mit den Hydrometeoren geschlossen zu haben, doch fällt im südlichen Krain noch mehr atmosphärisches Wasser zur Erde, als selbst in dem übel berufenen Tolmezzo (2421 mm). — Deutschlands Regenverhältnisse haben uns v. Möllendorff [164], van Bebber [165], Töpfer [166] und, wenigstens für den Nordwesten, Moldenhauer [167] genau kennen gelehrt, wozu dann noch die hyëtographische Statistik Böhmens von Studnička [168] tritt. Wer den Zu-

sammenhang nur in grossen Zügen überblicken will, thut wohl, sich an die übersichtliche Darstellung Krümmels [169] zu halten. Nord- und Westdeutschland sind durch ziemlich gleichmässige Verteilung der Niederschläge über das ganze Jahr ausgezeichnet, aber in Bayern, Ostdeutschland und Oesterreich-Ungarn fällt das Maximum der Niederschlagshäufigkeit auf die Sommermonate. Besonders günstig stellt sich die atmosphärische Bewässerung, verbunden mit hoher Frühlingswärme, in der linksrheinischen Ebene, wie man schon aus den phänologischen Beobachtungen (Kap. VII, §. 5) erkennen kann; viele Gewächse erreichen die Vollblüte im März, einzelne (z. B. Almus glutinosa) bereits im Februar [170]. Im Berglande tritt die uns aus der allgemeinen Klimatologie (S 383) erinnerliche Vermehrung der Niederschlagsmenge mit der Höhe allenthalben hervor, so besonders im Schwarzwald, der — dank den Bemühungen des grossherzoglich badischen Zentralbureaus für Meteorologie und Hydrographie unter Honsells und Schultheiss' Leitung — sehr gründlich erforscht ist. Die ombrischen Höhenzonen des Schwarzwaldes entsprechen deutlich dem Terrain. Früher galt Höchenschwand im südlichen Schwarzwald als der wasserreichste Ort des Gebirges, aber im Jahre 1895 befand sich [171] dieses Dorf bloss in der siebenten Zone (1600—1800 mm), und die Maximalzone (über 2000 mm) war stark nach Norden, bis in die Breite von Strassburg, verschoben. Einer der in hyëtographischer Beziehung bestbekannten Teile des Deutschen Reiches ist Schlesien, dessen Regenkarte Partsch [172] gezeichnet hat, und da findet sich, dass schon kleine isolierte Erhebungen, wie der Zobten (I, S. 397), die Regenmenge steigernd beeinflussen, während die sudetischen Gebirge dies selbstredend in weit erhöhtem Maſse thun. Von Hellmann [173] besitzt man eine interessante Uebersicht über die Niederschlagsextreme Deutschlands.

c) **Europas Osten.** Mit der Ausbildung des Kontinentalklimas hält im allgemeinen die Abnahme der Niederschläge gleichen Schritt; nur die subtropischen Länder, mit ihrer spezifischen Winterbefeuchtung (S. 282), lassen manche Ausnahme hervortreten. Dass übrigens auch in dieser Zone der Gegensatz zwischen warmer und kalter Jahreszeit nicht zu verkennen sei, ist eine wichtige Bemerkung Supans [174]. — Obwohl subtropisch, entbehrt Griechenland doch nicht einer höheren Luftfeuchtigkeit, die schon durch das längere Liegenbleiben des Schnees in den zentralen Partien garantiert ist [175], und nur Athen behauptet hinsichtlich der Häufigkeit wie Stärke des Regenfalles den Platz eines Minimums. — Für Russland hat das grosse Werk H. Wilds [176] eine vortreffliche Grundlage geschaffen. Nachstehende Zahlen der mittleren jährlichen Regenhöhe verdeutlichen den Satz, dass nach Osten und Süden die meteorische Befeuchtung stetig abnimmt; es hat St. Petersburg 450, Kasan 350, Astrachan bloss 120 mm. Auch Kaukasien ist niederschlagsarm, und zwar ganz unverhältnismässig mehr im Osten. „Dass westliche Küstenstationen zehnmal regenreicher sind, als östliche in nahezu gleicher Lage, wie Batum im Vergleiche zu Baku, findet im Bereiche dieses“ — des noch in gewissem Sinne westeuropäischen — „Gebietes kein Analogon“ [177].

d) **Nord- und Ostasien.** Von der Wolga bis zur Lena waltet grosse Regelmässigkeit in den — an sich spärlichen — Niederschlägen ob. Starke Sommerregen mit Gewittern kennzeichnen die Mandschurei [178]. Japans Ost- und Westküste verhalten sich ungleichmässig, je nachdem eine warme Meeresströmung mehr an die westliche, eine kalte mehr an die östliche herantritt. Eigentümlich erscheint der Umstand, dass in Ostasien, auch wenn man es durchaus nicht mehr dem subtropischen Gürtel zurechnen kann, teilweise die Wintermonate vom Regen — und von reichlichem Schnee — bevorzugt werden [179]. Erst im Süden Japans und Chinas tritt dann der sommerliche Monsunregen in seine vollen Rechte.

e) **Vorder- und Hinterindien.** Der Jahreszeitencharakter Gesamt-Indiens wird durch die Monsunregen bestimmt, indem der sommerliche SW-Monsum den Regen zu bringen pflegt. Für Hinterindien gilt dies in besonders hohem Grade. Eine kühle Jahreszeit reicht von der zweiten Hälfte des Oktober bis zum Februar oder März; dann folgt die heisse Jahreszeit, die nur im Brahmaputra-Thale sich minder kräftig ausprägt, und darauf die unserem Hochsommer und Herbst entsprechende Regenzeit [180], während welcher ganze Provinzen Hindostans sich in Seen verwandeln. Besonders viel Regen fällt im Hinterindischen Archipel, und zwar ist die Benässung auf den dem SE-Passat zugekehrten Inselseiten die ausgiebigere. Im September 1867 betrug nach Jagor [181] in

Manila das Regenquantum des September, mit 1500 mm, nahezu das Dreifache von dem, was zu Berlin im Laufe des ganzen Jahres fällt.

f) **Innerasien.** Die für sehr trocken gehaltenen zentralen Mulden Zentralasiens sind, den Ermittlungen Prshewalskis [182] gemäss, dies nicht in so ganz hohem Maſse; die Gobi ist keine eigentliche Wüste, und nur das Tarymbecken verdient diesen Namen ganz und gar. Ueberall, auch in Iran, nimmt die Feuchtigkeit an den Hängen der Randgebirge rasch zu. Besonders dürr scheint Beludschistan zu sein [183], das alte Gedrosia, das ja schon durch die Mühsale des Alexanderzuges zu unerfreulicher Berühmtheit gelangt war.

g) **Australien und Ozeanien.** Der Nordwesten des Kontinentes nimmt teil an den dem Monsun anhaftenden Eigenschaften, und im Osten weht auch der feuchte SE-Passat herein. Doch mindert sich die Feuchtigkeit, wenn der Passat schon viel Gebirgs- und Flachland überweht hat, und deshalb ist im tropischen Norden die Trockenzeit von längerer Dauer, als die Regenzeit [184]. Das ektropische Neuholland ist durch langwährende Dürren, welche die furchtbarsten wirtschaftlichen Verluste nach sich ziehen, unvorteilhaft gekennzeichnet. Gegen Osten hin bessern sich die Verhältnisse stetig, und Neu-Seeland gehört zu den regenreichsten Gegenden unserer Erde [185] (vgl. Abt. VIII, Kap. III). — Die ozeanische Inselwelt kann die Zugehörigkeit zum äquatorialen Seeklima nicht verleugnen; der Regen ist ziemlich gleichförmig über das Jahr verteilt, und es gibt Archipele, für die nicht leicht ein Tag ohne Niederschlag vergeht, wie z. B. die Marschalls-Inseln [186]. Die Inseln von Hawaii, mit deren Klima uns Finsch [187] bekannt gemacht hat, liegen bereits unter dem Wendekreise und besitzen durchweg eine sehr regenreiche Luvseite (S. 282), die räumlich nicht weit von einer regenarmen, zur Wüstenbildung neigenden Seite absteht.

h) **Nordafrika.** Bis in die Sáhara hinein dehnen sich die ausschliesslichen Winterregen aus. Nach Raulin [188] und Brocard [189] umfasst in Algerien die eigentliche Trockenzeit den Jahresabschnitt der vier Monate Mai, Juni, Juli, August. — Die wenigen verlässigen Beobachtungen über die Zustände in der Wüste, unter denen diejenigen von Rohlfs hervorragen [190], ergaben, dass es absolut regenlose Bezirke dortselbst kaum gibt; aber freilich vergehen mitunter Jahre, bis einmal ein Wolkenbruch die Trockenthäler (Wadis) mit rasch wieder verlaufender Flut erfüllt. Von solch plötzlichen Regengüssen hängt, wie Lenz [191] erzählt, im südlichen Marokko die Möglichkeit einer ärmlichen Ernte ab.

i) **Tropisch-Afrika.** Auf den Maskarenen ist die regnerische Jahreszeit zugleich die heisse, die trockene aber ist kühl und wohlthätig; sie reicht vom Mai bis zum Oktober [192]. — An der Ostküste Madagaskars fällt das ganze Jahr hindurch Regen [193], aber das Hochplateau des Inneren kennt eine Trockenperiode. — Ostafrika ist, zumal in der Breite der Insel Sansibar, ein Regengebiet allerersten Ranges; gegen Norden macht sich allmählich eine von Neujahr bis März anhaltende Trockenzeit geltend; in Harar stellen sich nach Paulitschke die tropischen Regen von Mitte April an ein [194]. Die durch den Monsun veranlassten Regenfälle dringen über Chartum hinaus nicht vor [195]. Im tropischen Zentralafrika ist meist der doppelte Anstieg zum Maximum der Niederschlagsmenge (S. 295) nachzuweisen. Am Biafra-Golfe sind sogar, wie Zenker angibt, die beiden zeitlich getrennten Trockenperioden nach Dauer und Intensität einander fast gleichwertig [196]. In Portugiesisch-Westafrika herrscht durchweg der nie rastende Tropenregen vor [197], und nur gegen Süden, im Bezirke von Mossamedes, vollzieht sich nach und nach der Uebergang zum subtropischen Winterregengebiete von

k) **Südafrika.** Die Jahreszeiteneinteilung des westlichen Teiles des südafrikanischen Dreieckes ist von der des östlichen verschieden; die Einzelheiten lernt man am besten kennen aus einer sehr verdienstlichen Schrift K. Doves [198]. Dem Gebiete der Winterregen gehören an die Südwestecke des Kaplandes und die westliche Karroo mit Klein-Namaland; als Uebergangsgebiet mit vorwiegendem Frühlings- und Herbstregen stellt sich uns dar die eigentliche Südküste (östlich vom Nadelkap mit südlicher und nördlicher Karroo und dem schwach befeuchteten Berglande des Südostens); umfangreicher endlich ist das Gebiet intensiven Sommerregens: Griqualand und Natal, welch letzteres von

der feuchtwarmen Moçambique-Strömung gestreift wird, sodann das Hochland des oberen Oranjeflusses, das nördliche Transvaal mit regenarmem Winter, die des Regens noch weniger als die Sáhara ermangelnde Kalahári, Gross-Nama- und Damaraland, endlich ein wenig breiter Küstenstreif zwischen Kunene und Elephantenfluss. Eine pflanzengeographische Merkwürdigkeit ist die unter dem Namen Karroo bekannte Hochterrasse des Küstenrandgebirges; denn während der trockenen Jahreszeit ist dieselbe Fläche eine öde Steppe, welche bald nach Eintritt der Regenperiode sich in einen Blütengarten umgewandelt zeigt. Wir haben uns mit ihr in Kap. XI nochmals zu befassen.

l) **Nordamerika.** Zwischen Ostküste und Innerem besteht bezüglich der Regenfrequenz und auch bezüglich der Regenmenge kein Gegensatz [199]. Das Herbstmaximum macht gegen Kanada hin einem Wintermaximum Platz [200]. Ueber die Detailverhältnisse klären die Regentabellen von Dunwoody [201] auf. Das Plateau zwischen Rocky Mountains und Sierra Nevada ist trocken und wüste, während in Kalifornien schon eine subtropische Regenperiode, vergleichbar derjenigen von Nordafrika, zu Tage tritt [202]. Greely unterscheidet [203] eine Anzahl von Regentypen, welche einfach oder zusammengesetzt genannt werden, je nachdem bloss ein einziges Maximum und Minimum oder aber eine Anzahl von Extremen zu erkennen ist. So ist, um nur einen Fall anzuführen, der Missouritypus charakterisiert durch geringe Winterniederschläge und ein Maximum des Regenfalles zu der Zeit, da der Frühling in den Sommer übergeht. In seinem Bestreben, die geschilderten Verhältnisse kausal zu vergleichen, untersuchte Köppen die Typeneinteilung an der Hand einer Karte der Supanschen Isotalantosen (S. 249) und kam dabei zu nachstehendem Erfahrungssatze [203]: Von zwei benachbarten Gegenden mit wesentlich verschiedener Temperaturamplitude neigt zu Sommer- oder Winterregen diejenige, welche bezüglich grosse oder kleine Temperaturschwankungen aufweist.

m) **Zentralamerika.** In Mexiko ist die Terra fria (S. 303) regenarm, und auch sonst gehört die ganze Republik nicht zu den regenreichen Ländern [204]. Das echt-tropische Mittelamerika hat grösstenteils [205] eine kürzere Regenzeit im Juni und Juli, eine längere im Herbst; wenigstens gilt dies entschieden für die atlantische Küste, während die gegenüberliegende teilweise ausschliesslich durch Sommerregen benetzt wird. Frantzius [206] meint sogar, auf der karaibischen Seite könne eigentlich nur von drei Regenzeiten die Rede sein, und eine Trockenzeit fehle ganz. Ununterbrochen ist in Britisch-Honduras und an der Mosquito-Küste die Luft nahe bis zum Sättigungspunkte mit Wasserdampf beschwert. In den Tierras frias und templadas von Costarica fand M. Wagner [207] die von Anfang Dezember bis Mitte April währende Trockenzeit fast unangenehmer, als es auf den Plateaux die Regenzeit ist. — Davon, dass in Westindien die Regenperioden sehr ungleich verteilt seien, musste bereits (S. 295) gesprochen werden, doch müssen wohl allenthalben Februar und März als die trockensten Monate betrachtet werden [208]. Eine örtliche Merkwürdigkeit ist ab und zu, besonders auf Jamaika, die Rapidität, mit welcher die häufigen Gewitter einsetzen [209]. Das Geräusch des auf einen Wald herabstürzenden Regens kann man 3 bis 5 km weit hören [210].

n) **Südamerika.** Die tropische Andenregion ist der einzige Teil des Kontinentes, für welchen die zwei Regenzeiten mit den Zenitabständen der Sonne zusammenfallen [211]. Die Uferbezirke von Ecuador lassen stellenweise eine starke Beeinflussung durch die kalte Humboldtströmung (s. o.) erkennen, die auch noch eine relative Trockenheit des Galapágos-Archipels zur Folge hat. Darüber ist eingehend von Th. Wolff gehandelt worden, an dessen Darstellung sich diejenige v. Eggers anschliesst [212]. Weiter südlich, in der Punaregion, dem Hochlande der Kordilleren, ist der Schauplatz der vielleicht stärksten Gewitter, welche die Erde kennt. An der peruanisch-chilenischen Grenze nimmt die Trockenheit derart überhand, dass sich eine wirkliche Wüste (Atacama) unter dem Einflusse einer hart an das Land herantretenden Polarströmung im Meere bilden konnte; die Wasserlosigkeit dieses Küstenstriches hat Philippi [213] des näheren geschildert. Im übrigen gehört das langgestreckte Chile der subtropischen, der gemässigten und der subpolaren Zone an, und alle drei Zonen bethätigen sich auch in der Regenverteilung. In den zentralen Partien der chilenischen Kordillere erlebte Güssfeldt [214] nur ganz selten Regen; man ist in den Hochthälern gar

nicht auf ein so ungewöhnliches Vorkommnis eingerichtet, und deshalb wird es mehr als Sturm und Kälte gefürchtet. Chiloë ist schon von Darwin [215] als eine überaus reich befeuchtete und darum dicht bewachsene Insel gekennzeichnet worden, und in der That verzeichnet die dortige meteorologische Station Ancud 191 Regentage im Jahresmittel [216]. Noch mehr, nämlich 236, hat man für die Falklands-Inseln konstatiert [217], und überhaupt gehört die subantarktische Inselwelt zu den feuchtesten Territorien unseres Planeten. — Das Innere Südamerikas ist in Bezug auf seine Regenverhältnisse noch wenig erforscht. Für die bolivianischen Andenabhänge lässt sich nach Reck [218] eine ähnliche orographisch-klimatische Einteilung durchführen, wie wir sie für Habesch (S. 302) und Mittelamerika (S. 303) kennen lernten, und zwar spielen dabei auch die Regenperioden eine Rolle. — Paraguay ist im Verhältnis zu seiner bedeutenden Meeresentfernung überaus feucht, hat aber einen trockenen und kalten Winter, in welchem sogar Nachtfröste (S. 267) nicht ausgeschlossen sind [219]. — Am Xingú ist, wie Vogel [220] sich überzeugte, eine doppelte Regenperiode deutlich ausgesprochen; während dieselbe ihre grösste Stärke erreicht, fallen die Niederschläge mehr bei Tage, aber zu Anfang und Ende erscheint die Nacht bevorzugt. — Die meteorologischen Terrassen (S. 303) sind nach Sievers [221] auch in Venezuela der Regulator der Wärme- und Feuchtigkeitsverhältnisse. An der Ostseite verschwindet die Duplizität der tropischen Regenzeit fast gänzlich [222]; die Bewohner der Llanos teilen das Jahr einfach in eine Sonnenzeit und in eine Regenzeit, über deren gegenseitiges Verhalten wir Humboldts malerische Schilderung besitzen [223]. Cayenne hat eine grosse und eine kleine Regenzeit, deren Ende jeweils durch schwere Gewitter signalisiert wird [224]. — Was wir sicheres über Brasilieu wissen, danken wir grösstenteils Dränert [225]. Ein grosser Teil der Litoralzone hat Sommer- und Herbstregen, während die Kontinentalregion durch Frühlings- und Sommerregen genässt wird. Ganz subtropisch sind bereits die brasilianischen Staaten Sta. Catharina und Rio Grande do Sul, betreffs deren wir auf die Mitteilungen von Ballod [226] und Karsten [227] verweisen. Der Regen ist übrigens keineswegs nur auf den Winter beschränkt, sondern verteilt sich unerwartet regelmässig durch alle Jahreszeiten. — Die Grundlage zur Erforschung des Klimas von Argentinien hat Burmeister [228] gelegt. Schon das meeresnahe Buenos Aires ist sehr heiter, nur im Frühling regnet es häufiger. Im Inneren bilden kurz andauernde Sommerregen mit Gewittern die Regel [229]. Auch Ostpatagonien empfängt in seinen gemässigten Lagen wenig meteorisches Wasser, und erst vom Kap Deseado an beginnt das dürre Land wieder grün zu werden [230]. Schon die gewaltige Gletscherentwickelung der äussersten südamerikanischen Südostküste spricht für einen hohen Grad von Luftfeuchtigkeit.

o) **Meere.** Eine genaue Charakteristik der Ozeane hinsichtlich ihres ombrischen Verhaltens kann aus nahe liegenden Gründen heute noch nicht gegeben werden. Die Luft- und Meeresströmungen bestimmten in erster Linie die Häufigkeit und Energie der Niederschläge. Einige Angaben s. u. in Ab. VII, Kap. III.

Unsere Uebersicht dürfte beweisen, dass es nicht leicht ist, die wechselnden und so wesentlich vom Bodenrelief abhängigen Regenverhältnisse unter einheitlichen Gesichtspunkten zu begreifen. Gleichwohl ist in dieser Richtung, dank den Arbeiten von Woeikow, Hann und Supan, ein entschiedener Schritt vorwärts gemacht worden. Insonderheit sind des letztgenannten Forschers Studien [231] über die jahreszeitliche Verschiebung der als hydrometeorischer Aequator bezeichneten Linie, welche das nördliche Winterhalbjahr vom südlichen Sommerhalbjahr und umgekehrt trennt, als vielversprechend zu begrüssen.

§. 7. **Klimatische Provinzen.** Wenn es gelingt, ein Erdgebiet derartig zu umgrenzen, dass gewisse massgebende Eigentümlichkeiten des Klimas für dessen Bereich übereinstimmen, während zugleich in den angrenzenden Territorien wesentlich andere klimatische Züge erkennbar sind, so kann man ersteres als Klimaprovinz bezeichnen; Supan

hat [232] die Einteilung der Erdoberfläche in solche Provinzen durchgeführt, von denen 21 auf die Alte Welt (nebst Australien und Ozeanien), 12 auf Amerika entfallen, während die Polarkalotten für sich gezählt werden müssen. Wärme und Niederschläge geben selbstverständlich die Kriterien an die Hand.

Wir erachten es für zweckmässig, die Supansche Klassifikation hier wiederzugeben, nicht deshalb, weil wir den ersten Versuch als einen abschliessenden ansehen, wohl aber aus dem Grunde, weil sich mit ihm zweifellos jeder Versuch auseinanderzusetzen hat, der künftig unternommen werden wird. Auf die Alte Welt entfallen: 1. die westeuropäische, 2. die osteuropäische, 3. die westsibirische, 4. die ostsibirische, 5. die kamdschadalische, 6. die chinesisch-japanische, 7. die asiatisch-hochländische, 8. die arabische, 9. die Indus-, 10. die Mittelmeer-, 11. die Sáhara-, 12. die tropisch-afrikanische, 13. die Kalahári-, 14. die Kap-, 15. die ostindisch-australische Monsun-, 16. die australische Binnenlands-, 17. die australische Südwest-, 18. die australische Ost-, 19. die neuseeländische, 20. die polynesisch-tropische, 21. die polynesisch-subtropische (Hawaii-) Provinz. Der Neuen Welt gehören an: 1. die Hudson-, 2. die nordwestliche Küsten-, 3. die kalifornische, 4. die Binnenplateau-, 5. die atlantische, 6. die westindische, 7. die tropische Anden-, 8. die tropisch-südamerikanische, 9. die peruanische, 10. die nordchilenische, 11. die südchilenische, 12. die Pampas-Provinz. Ob arktische und antarktische Zone in ein und derselben klimatischen Provinz sich vereinigen lassen, sind wir vorläufig noch nicht zu beurteilen im stande.

Die Herausbildung distinkter Klimate infolge charakteristischer Gebirgsformationen hat Hann [233] am Beispiele der östlichen Alpen nachgewiesen, wo sich über den einzelnen Gebirgskammern, wenn im Winter ein langlebiges barometrisches Maximum herrscht, excessive Kälteverhältnisse geschaffen werden. Durch Windschutz haben sich (S. 284) die Riviera und die lombardischen Seen gleichfalls den Rang kleinerer, aber selbständiger Klimaprovinzen erworben, und die Thatsache, dass Arkadien, die rings durch Gebirge vom übrigen Peloponnes abgeschlossene Zentrallandschaft, ein durch seine Besonderheiten ausgezeichnetes klimatisches Individuum sei, hatte sich bereits den Alten aufgedrängt [234]. Natürlich wird auch die Luftdruckverteilung Berücksichtigung fordern, wenn man mit derselben für weitere Erdräume erst so weit bekannt sein wird, als dies durch eine fundamentale Untersuchung von Hann [235] für den grösseren Teil unseres Erdteiles bereits geschehen ist.

[1] Hann, Handbuch der Klimatologie, II, Stuttgart 1897, S. 10 ff. — [2] Meyen, Bemerkungen über die klimatischen Verhältnisse des südlichen China, N. A. L. C. A., 1835, S. 855 ff. — [3] Hann, a. a. O., II, S. 16. — [4] Ebenda, II, S. 315 ff. — [5] Ebenda, II, S. 33. — [6] Ebenda, II, S. 39 ff. — [7] Hübler, Zur Klimatographie von Kamerun, M. G. S., I, S. 79. — [8] Ratzel, Anthropogeographie oder Anwendung der Erdkunde auf die Geschichte, I, Stuttgart 1882, S. 318 ff. — [9] Hann, III, S. 19 ff. — [10] Ebenda, III, S. 6. — [11] A. E. v. Nordenskiöld, Die wissenschaftlichen Ergebnisse der Vega-Expedition, Leipzig s. a., S. 298. — [12] Hann, III, S. 472. — [13] Bessels, Die amerikanische Polarexpedition, Leipzig 1879, S. 426. — [14] v. Nordenskiöld, a. a. O., S. 390 ff. — [15] Hann, III, S. 477. — [16] Parry, Zweite Reise zur Entdeckung der nordwestlichen Durchfahrt, aus dem Englischen, Jena 1824, S. 76, 157, 169. — [17] Supan, Die arktische Windscheide und die modernen Polarprojekte, P. G. M., XXXVII, S. 191 ff. — [18] Fricker, Antarktis, Berlin 1898, S. 177 ff. — [19] Ebenda, S. 184. — [20] Hann, III, S. 24 ff. — [21] Ebenda, III, S. 347 ff. — [22] Ebenda, III, S. 353, 377, 418. — [23] Th. Fischer, Beiträge zur physischen Geographie der Mittelmeerländer, besonders Siziliens, Leipzig 1877, S. 25 ff.; Studien über das Klima der Mittelmeerländer, P. G. M., E. H. Nr. 58. — [24] Hann, III, S. 74. — [25] Höffinger, Gries-Bozen in Deutsch-Südtirol, als klimatischer Terrain-Kurort und Touristenstation, Innsbruck 1887, S. 71 ff. — [26] Hann, III, S. 29. — [27] Ebenda, III, S. 26. — [28] Riccò-Saija, Ueber die täglichen und jährlichen Schwankungen der Temperatur auf dem Gipfel des Aetna, N. R., IX, S. 399 ff. — [29] Rein, Geographische und naturwissenschaftliche Abhandlungen, I, Leipzig 1892, S. 193. — [30] Hellmann, Feuchtigkeit und Bewölkung auf der iberischen Halbinsel, N. M. J., 1876, I. — [31] C. Neumann-Partsch, Physikalische Geographie von Griechenland, mit besonderer Rücksicht auf das Altertum, Breslau 1885, S. 30, 86 ff. — [32] Ebenda, S. 29. — [33] Zehden, Handelsgeographie auf Grundlage der neuesten Forschungen und Ergebnisse der Statistik, Wien 1894, S. 309 ff. — [34] Schinz, Deutsch-Südwestafrika, Oldenburg-Leipzig 1891. — [35] Supan, Grundzüge der physischen Erdkunde, Leipzig

1896 S. 611. — [36] C. Neumann-Partsch, a. a. O., S. 402. — [37] Supan, a. a. O., S. 91. — [38] Th. v. Bayer, Ueber den Polarkreis, Leipzig 1889, S. 99. — [39] Dawson, Winter Life at Fort Rae, N., XXVIII, S. 371 ff. — [40] Hann, III, S. 449. — [41] Ch. Darwin-Carus, Reise eines Naturforschers um die Welt, Stuttgart 1893, S. 262 ff. — [42] W. Köppen, Die Wärmezonen der Erde, nach der Dauer der heissen, gemässigten und kalten Zeit und nach der Wirkung der Wärme auf die organische Welt betrachtet, M. Z., I, S. 215 ff. — [43] Supan, Die Temperaturzonen der Erde, P. G. M., XXV, S. 349 ff. — [44] Hann, II, S. 7 ff. — [45] Supan, Die Verteilung der jährlichen Wärmeschwankung auf der Erdoberfläche, Z. w. G., I, S. 141 ff. — [46] Supan, Grundzüge etc., S. 83. — [47] Hann, II, S. 9. — [48] Hann, II, S. 58 ff. — [49] Oberländer, Westafrika, Leipzig 1878; Büttikofer, Reisebilder aus Liberia, I, Leiden 1890. — [50] Hübler, a. a. O., S. 34. — [51] v. Danckelman, Die meteorologischen Beobachtungen der Güssfeldtschen Loango-Expedition, Leipzig 1878; Klima der Loangoküste in Westafrika, Z. ö. G. M., XIV, S. 291 ff.; Ueber das Klima am Kongo und an der Südwestküste von Afrika überhaupt, ebenda, XX, S. 462 ff. — [52] Pechuel-Lösche, Zur Kenntnis des Hererolandes, A., LIX, S. 849 ff. — [53] Hann, II, S. 515. — [54] Ebenda, III, S. 373. — [55] Ebenda, II, S. 131. — [56] Ebenda, II, S. 125. — [57] Brehme, Das Kulturland des Kilimandjaro und dessen klimatische und gesundheitliche Verhältnisse, M. D. S., VII, S. 106 ff. — [58] Hann, II, S. 158 ff. — [59] Ebenda, II, S. 127. — [60] K. Dove, Kulturzonen von Nordabyssinien, P. G. M., E. H. Nr. 97. — [61] Nordmann, Das Klima von Abyssinien, Marburg i. H., 1888. — [62] Rohlfs, Liegt ewiger Schnee in Abyssinien? A., LVII, S. 501 ff. — [63] Hann, II, S. 145. — [64] Staudinger, Im Herzen der Haussaländer, Berlin 1889, S. 758. — [65] Einige Resultate meteorologischer Beobachtungen des Herrn Dr. Ed. Glaser zu Sanâ in Jemen, Südarabien, M. Z., X, S. 141 ff. — [66] Hann, II, S. 210. — [67] Hann, Zum Klima von Hinterindien, Z. ö. G. M., L. B., VII, S. 21 ff. — [68] Hann, Handbuch etc., II, S. 227. — [69] Ebenda, II, S. 265. — [70] Ebenda, II, S. 285. — [71] Sapper, Grundzüge der physikalischen Geographie von Guatemala, P. G. M., E. H. Nr. 113. — [72] M. Wagner-Scherzer, Die Republik Costarica in Zentralamerika, Leipzig 1856, S. 475. — [73] Tippenhauer, Die Insel Haiti, Leipzig 1893, S. 141. — [74] H. W. Dove, Ueber das Klima von Cayenne, Z. ö. G., (2) IV, S. 341 ff. — [75] Schichtel, Der Amazonenstrom, Strassburg 1893, S. 30 ff. — [76] Hann, II, S. 339. — [77] Lanier, Florida, its Scenery, Climate and History, Philadelphia 1881. — [78] Hann, III, S. 243 ff.; Geiger, Die Pamirgebiete, Wien-Olmütz 1887, S. 44. — [79] Hann, III, S. 413. — [80] A. Krause, Das Chilcat-Gebiet in Alaska, Z. G. E. B., XVIII, S. 366. — [81] Whymper-Steger, Alaska; Reisen und Erlebnisse im hohen Norden, Braunschweig 1869, S. 190. — [82] Hayes-J. E. A. Martin, Das offene Polarmeer, Jena 1868, S. 355 ff. — [83] Payer, Die österreichisch-ungarische Nordpolexpedition in den Jahren 1872—74, Wien 1876, S. 248 ff. — [84] K. Andree, Hausbibliothek für Länder- und Völkerkunde, XII, Leipzig 1857, S. 163, 201. — [85] Hann, III, S. 505. — [86] Peschel-Leipoldt, Physische Erdkunde, II, Leipzig 1885, S. 70. — [87] P. G. M., XVIII, Tab. 19; XXII, S. 442 ff.; XXV, S. 57. — [88] Hann, III, S. 513 ff. — [89] Nansen, In Nacht und Eis, Supplementband, Leipzig 1898, S. 380. — [90] Hann, III, S. 521. — [91] Ebenda, III, S. 544. — [92] Coffin, The Winds of the Globe, Washington 1875. — [93] Supan, Statistik der unteren Luftströmungen, Leipzig 1881. — [94] Toynbee, On the Physical Geography of the Part of the Atlantic, which lies between 20° N. and 20° S., and extents from 70° to 40° W., London 1876. — [95] Brault, Etude sur la circulation atmosphérique de l'Atlantique nord, Paris 1877. — [96] Hoffmeyer, Die Verteilung des Luftdruckes über dem Nordatlantischen Ozean während des Winters und dessen Einfluss auf das Klima von Europa, Z. ö. G. M., XIII, S. 337 ff.; M. Z., I, S. 22 ff. — [97] van Bebber, Handbuch der ausübenden Witterungskunde, II, Stuttgart 1886, S. 418. — [98] Ebenda, II, S. 422. — [99] Indischer Ozean; ein Atlas von 35 Karten, die physikalischen Verhältnisse und die Verkehrsstrassen darstellend; herausgegeben von der Direktion der Deutschen Seewarte, Hamburg 1891. — [100] Davis, The Winds of the Indian Ocean, A. M. J., 1893, S. 333 ff. — [101] Hann, III, S. 543 ff. — [102] Ebenda, III, S. 480. — [103] Ebenda, III, S. 483. — [104] Supan, Statistik etc., S. 86. — [105] Ebenda, S. 40 ff. — [106] Curman, Om klimat och bad vid Sveriges vestkust, Stockholm 1879. — [107] Supan, S. 56. — [108] Ebenda, S. 58 ff. — [109] Grad, Essais sur le climat des Vosges et de l'Alsace, Mülhausen 1870. — [110] Grube, Geographische Charakterbilder, I, Leipzig 1855, S. 147. — [111] Supan, S. 82 ff. — [112] Hann, III, S. 168. — [113] J. Partsch, Schlesien; eine Landeskunde für das deutsche Volk auf wissenschaftlicher Grundlage, I, Breslau 1896, S. 260. — [114] Umlauft, Die Koschawa, ein Aequinoktialwind Ungarns, D. R. G. St., V, S. 330 ff. — [115] Hegyfoky, Ueber die Windrichtung in den Ländern der ungarischen Krone, nebst einem Anhang über Barometerstand und Regen, Budapest 1894; Die unteren und oberen Luftströmungen über der ungarischen Tiefebene, M. N. B. U., XIV, S. 197 ff. — [116] Supan, S. 92 ff. — [117] Hoffmeyer, Weitere Bemerkungen über die Luftdruckverteilung im Winter, Z. ö. G. M., XIV, S. 73 ff. — [118] C. Neumann-Partsch, Physikalische Geographie von Griechenland mit besonderer Rücksicht auf das Altertum, Breslau 1885, S. 103. — [119] Maclaren, The Plains of Troy described, Edinburgh 1863, S. 215. — [120] Schliemann, Ilios, Stadt und Land der Trojaner, Leipzig 1883, S. 101. — [121] Supan, S. 109 ff. — [122] Hann, I, S. 349. — [123] Ebenda, III, S. 49 ff. — [124] Supan, S. 115 ff. — [125] Hellmann, Ueber heisse Winde und Lokalwinde auf der iberischen Halbinsel, Z. ö. G. M., XIII, S. 307 ff. — [126] Zöppritz, Bemerkungen über W. v. Zichys meteorologische Beobachtungen und Höhenbestimmungen, P. G. M., XVIII, S. 136. — [127] Supan, S. 128 ff. — [128] Stanley, Durch den dunklen Erdteil, II, Leipzig 1878, S. 335. — [129] Hann, III, S. 52 ff. — [130] v. Danckelman, Beiträge zur Kenntnis des Klimas des deutschen Togolandes und der Gold- und Sklavenküste, M. d. S., III. S. 1 ff. — [131] Nachtigal, Das Klima von Kuka am Tsade in Bornu, Z. G. E. B., VII, S. 468. — [132] Supan, S. 148 ff. — [133] Hann, III, S. 228 ff. — [134] Blanford, The Winds of Northern India, in Relation to the temperature and Vapour-Constituent of the Atmosphere, Calcutta 1881; Z. ö. G. M., L. B., X, S. 260 ff.; A. Practical Guide to the Climates and Weather of India, Ceylon and Burmah, London 1889. — [135] Dallas, Memoir on the Winds and Monsoons of the Arabian Sea and Indian Ocean, Calcutta 1887. — [136] Meinardus, Beiträge zur Kenntnis der klimatischen Verhältnisse des nordöstlichen Teiles des Indischen Ozeans, Altona 1894, S. 14. — [137] Hann, II, S. 167. — [138] Ebenda, II, S. 214 ff. — [139] Blink, Wind- und Meeresströmungen im Gebiete der Kleinen Sunda-Inseln, B. G., I, S. 1 ff. — [140] Hann, III, S. 235. — [141] Ebenda, III, S. 245. — [142] Ebenda, III, S. 380. — [143] Blink, a. a. O., S. 21. — [144] Hann, II, S. 278 ff. — [145] Ebenda, II, S. 296. — [146] Zöppritz, Beiträge zur Kenntnis des Klimas von Darien, Chocó und Nicaragua, M. Z., I, S. 362 ff. — [147] Köppen, Das Klima von Mittelamerika, G. Z., II, S. 427 ff. — [148] Supan, S. 172 ff. — [149] Ebenda, S. 182 ff. — [150] Ebenda, S. 196 ff. — [151] v. Hesse-Wartegg, Mexiko; Land und Leute, Wien-Leipzig 1895, S. 387. — [152] Hann, II, S. 310 ff. — [153] Supan, S. 157 ff. — [154] Ebenda, S. 153 ff. — [155] Hann, Resultate der meteorologischen Beobachtungen der französischen Polarexpedition 1882/83 am Kap Hoorn, M. Z., VI, S. 95 ff. — [156] Woeikow, Verteilung der Niederschläge, Z. w. G., I, S. 189 ff., 258 ff. — [157] Supan, Die Verteilung des Niederschlages auf der festen Erdoberfläche, P. G. M., E. H. Nr. 124. — [158] Ebenda, S. 4. — [159] Oyen, Temperatur-

jagtaggelser i Jotunfieldene sommeren 1892, A. M. N., XVI, S. 229 ff. — [160] Buchan, The monthly and annual Rainfall of Scotland, 1866—1890, J. S. M. S., (3) X, S. 3 ff. — [161] Lancaster, La pluie en Belgique, I, Brüssel 1894. — [162] Blink, Nederland en zijne bewoners, III, Amsterdam 1892, S 17 ff. — [163] Angot, Sur le régime pluviométrique de l'Europe occidentale, A. G., V, S. 15. — [164] v. Möllendorff, Die Regenverhältnisse Deutschlands, Görlitz 1875. — [165] van Bebber, Regentafeln für Deutschland, Kaiserslautern 1876; Die Regenverhältnisse Deutschlands, München 1877. — [166] Töpfer, Untersuchungen über die Regenverhältnisse Deutschlands, Görlitz 1884. — [167] Moldenhauer, Die geographische Verteilung der Niederschläge im nordwestlichen Deutschland, Stuttgart 1896. — [168] Studnička, Grundzüge einer Hyëtographie des Königreiches Böhmen, Prag 1887. — [169] Krümmel, Die Verteilung der Regen in Europa, Z. G. E. B., XIII, S. 97 ff. — [170] Lauterborn, Pflanzenphänologische Beobachtungen aus der Umgebung von Ludwigshafen a. Rh., Pl., LIII, Nr. 9. — [171] Schultheiss, Ergebnisse der meteorologischen Beobachtungen in Baden im Jahre 1895, Karlsruhe 1896. — [172] Partsch, Die Regenkarte Schlesiens und der Nachbargebiete, Stuttgart 1895. — [173] Hellmann, Die regenärmsten und die regenreichsten Gebiete Deutschlands, M. Z., III, S. 429 ff. — [174] Supan, a. a. O., S. 29. — [175] C. Neumann-Partsch, S. 63 ff. — [176] H. Wild, Die Regenverhältnisse des Russischen Reiches, St. Petersburg 1887. — [177] Supan, S. 7. — [178] Hann, III, S. 250. — [179] Ebenda, III, S. 225. — [180] Ebenda, II, S. 177 ff. — [181] Jagor, Reisen in den Philippinen, Berlin 1873, S. 42. — [182] Prshewalski-Woeikow, Das Klima Zentralasiens, M. Z., XIII, S. 49 ff., 90 ff. — [183] Supan, S. 10. — [184] Hann, II, S. 253. — [185] Ebenda, III, S. 401. — [186] Ebenda, II, S. 271. — [187] Finsch, Zur Kenntnis der Hawaii-(Sandwich-)Inseln, Bremen 1883. — [188] Raulin, Observations pluviométriques, Bordeaux-Paris 1876. — [189] Brocard, Carte des pluies en Algérie, Assoc. franç. pour l'avancement des sciences, 18 avril 1881. — [190] Hann, Rohlfs' meteorologische Beobachtungen in der Sáhara und im Sudân, M. Z., VIII, S. 136 ff. — [191] Lenz, Timbuktu, I, Leipzig 1892, S. 192. — [192] Hann, II, S. 122. — [193] Ebenda, II, S. 125. — [194] Zum Klima des Golfes von Aden, M. Z., VII, S. 62. — [195] Hann, III, S. 144. — [196] Häbler, S. 48; M. D. S., 1893, S. 218 ff. — [197] Hann, II, S. 99. — [198] K. Dove, Das Klima des aussertropischen Südafrika, mit Berücksichtigung der geographischen und wirtschaftlichen Beziehungen nach klimatischen Provinzen dargestellt, Göttingen 1888. — [199] Hann, III, S. 258. — [200] Ebenda, III, S. 291. — [201] Dunwoody, Monthly Charts showing the normal monthly Rainfall in the United States, Washington 1889. — [201] Hann, III, S. 289 ff. — [202] Greely, Charts showing the Probability of Rainy Days prepared from Observations for 18 Years, Washington 1891; Rainfall Types of the United States, N. G. M., Aprilheft 1893; Hann, III, S. 294 ff. — [203] Köppen, Regenwahrscheinlichkeit und Bewölkung in den Vereinigten Staaten von Nordamerika, M. Z., X, S. 167. — [204] Hann, II, S. 288. — [205] Ebenda, II, S. 299. — [206] Frantzius, Versuch einer wissenschaftlichen Begründung der klimatischen Verhältnisse von Zentralamerika, Z. G. E. B., III, S. 289 ff. — [207] M. Wagner-Scherzer, Die Republik Costa Rica in Zentralamerika, Leipzig 1856, S. 271. — [208] Hann, II, S. 314. — [209] Freudenberg, Der Regenfall auf Jamaica, A., LXV, S. 244 ff. — [210] Wolken, Wolkenzug und Gewitter auf Jamaica, M. Z., XV, S. 197. — [211] Hann, II, S. 328. — [212] Th. Wolf, Geografia y Geologia del Ecuador, Leipzig 1892; v. Eggers, Die Küstengebiete von Ecuador, M. Z., XII, S. 268 ff. — [213] Philippi, Reise durch die Wuste Atacama, Halle a. d. S. 1860. — [214] Güssfeldt, Reise in den Andes von Chile und Argentinien, Berlin 1888, S. 179. — [215] Ch. Darwin-Carus, Reise eines Naturforschers um die Welt, Stuttgart 1893, S. 296. — [216] Hann, III, S. 450. — [217] Ebenda, III, S. 466. — [218] Reck, Geographie und Statistik der Republik Bolivia, P. G. M., XI, S. 281 ff. — [219] Hann, III, S. 378. — [220] P. Vogel, Reisen in Mato Grosso, Z. G. E. B., XXVIII, S. 337. — [221] Sievers, Die Kordillere von Mérida nebst Bemerkungen über das karibische Gebirge, Wien-Olmütz 1888. — [222] Hann, II, S. 249 ff. — [223] Humboldt, Ansichten der Natur, Werke*), XI, S. 13 ff. — [224] Hann, II, S. 358 ff. — [225] Dränert, O Clima do Brazil, Rio Janeiro 1896; Die Verteilung der Regenmengen in Brasilien, M. Z., III, S. 381 ff. — [226] Ballod, Der Staat Santa Catharina in Südbrasilien, A., LXV, S. 459 ff. — [227] G. Karsten, Meteorologische Beobachtungen aus Pelotos in Südbrasilien, Kiel 1879. — [228] Burmeister, Ueber das Klima der argentinischen Republik, Halle a. d. S. 1861. — [229] Hann, III, S. 443 ff. — [230] Ebenda, III, S. 446. — [231] Supan, S. 45 ff. — [232] Supan, Grundzüge etc., S. 173 ff. — [233] Hann, Die mittlere Wärmeverteilung in den Ostalpen, Z. d. ö. A., XVII, S. 22 ff. — [234] Neumann-Partsch, S. 55. — [235] Hann, Die Verteilung des Luftdruckes über Mittel- und Südeuropa, Wien 1887.

Kapitel IX.

Regelmässige und unregelmässige Veränderungen des Klimas.

§. 1. **Klimaveränderung und Klimaschwankung.** Den Begriff des Klimas suchte Kapitel VII nach Möglichkeit genau zu bestimmen, aber ein wichtiger Punkt blieb damals noch unerörtert: Ist die Gesamtsumme meteorologischer Eigenschaften, welcher wir den Namen Klima gaben, etwas Stabiles oder ist sie dies nicht? An und für sich ist kein Grund vorhanden, die Frage im einen oder anderen Sinne zu beantworten; es muss vielmehr die Erfahrung die Entscheidung liefern. Wenn aber Stabilität nicht obwaltet, so kann immerhin noch ein Doppeltes möglich sein: wir können es mit einer

*) Vgl. die Bemerkung unter dem Texte I, S. 39.

Veränderung schlechtweg oder auch mit einer Schwankung zu thun haben.

Im ersteren Falle fehlt der Begriff der Regelmässigkeit; man kann vielleicht behaupten, dass nach einem gewissen Zeitraume das Klima einer Erdstelle nicht mehr das gleiche sei, wie es vor jener Zeit gewesen; man kann wohl auch Art und Umfang der Abweichung feststellen; aber man hat keinen Anhaltspunkt dafür gewonnen, ob die Veränderung einen zufälligen oder einen gesetzmässigen Charakter trägt. Alsdann sprechen wir einfach von einer Veränderung, und nur solche Veränderungen hatten wesentlich die älteren Autoren im Auge, welche sich schon ziemlich zahlreich mit den einschlägigen Problemen beschäftigten [1]. Später jedoch erkannte man, dass die klimatischen Verhältnisse die Tendenz bekunden, in regelmässigen Intervallen wieder den früheren Typus anzunehmen, und alsdann soll, wie mit Recht gefordert worden ist [2], das unbestimmte Wort Veränderung durch die bestimmtere Bezeichnung Schwankung ersetzt werden.

Bei dieser Sachlage ist uns die Einteilung dieses Kapitels ganz von selbst vorgezeichnet. Wir haben zuerst zu handeln von den Veränderungen des Klimas, welche seit dem Auftreten des Kulturmenschen — denn die Prähistorie gibt uns hierüber gar keinen sicheren Aufschluss — sich ergeben haben sollen, und zwar müssen dabei zuerst die indirekten Kriterien besprochen werden, denen natürlich auch nur eine bedingte Beweiskraft beigelegt werden kann, während wir sofort festeren Boden unter die Füsse bekommen, wenn es gelingt, auch direkte Kriterien auszumitteln, welche auf Messungen und exakten Beobachtungen beruhen. Es wird sich zeigen, dass in der That die Wahrscheinlichkeit für das Vorhandensein reeller Klimaschwankungen auch in der Gegenwart noch eine sehr grosse ist. Und da Gründe, deren wahre Natur freilich erst in Kap. III der achten Abteilung volle Würdigung erfahren kann, dafür sprechen, dass analoge Schwankungen in geologischer Vergangenheit nicht minder stattgefunden haben, Oszillationen freilich von unvergleichlich grösserer zeitlicher und atmosphärologischer Amplitude, so müssen wir die Erwägungen, welche uns zu richtigen Erkenntnissen für die Neuzeit verholfen haben, auch auf jene frühere Zeit zu übertragen suchen. Und damit entsteht die ebenfalls noch in dieses Kapitel gehörige Lehre von der Eiszeit.

§. 2. **Indirekte Kennzeichen für geschichtliche Klimaveränderungen.** Da meteorologische Messungsinstrumente (vgl. Kap. II) noch nicht einmal seit dreihundert Jahren im Gebrauche stehen, so werden wir, sobald wir ältere Epochen prüfen wollen, auf die Benützung der minder sicheren Kennzeichen angewiesen sein, welche Welt- und Kulturgeschichte uns zur Verfügung stellen. Dieselben sind jedenfalls viel zu mannigfaltig, als dass eine systematische Aufzählung und Bewertung derselben hier am Platze erschiene. Es wird vielmehr vorzuziehen sein, an der Hand der wirklichen Forschungen die in Betracht kommenden Erdgegenden daraufhin zu untersuchen, ob in ihrem Bereiche das Klima sich geändert hat oder nicht. Zwei Schriften, von Polluge [3] und v. Czerny [4], leisten uns dabei als Materialsammlungen sehr schätzbare Dienste, und auch Brückner hat seiner auf ein viel weiteres Ziel gerichteten Abhandlung einen Abschnitt eingefügt [5], welcher alle hierüber hervorgetretenen Ansichten eingehend diskutiert.

Nur kurz sei darauf verwiesen, dass die Frage, ob es eine kontinuierliche Verminderung der Wasservorräte der Erde gibt, hier noch nicht zur Beratung gestellt werden soll. Auf sie wird in Abt. VII, Kap. I und in Abt. VIII, Kap. 4 zurückzukommen sein. Denn mit den meteorologischen Ueberlegungen vermengen sich so vielfach geomorphologische, hydrographische und sogar hydrotechnische Gesichtspunkte, dass vorläufig eine auch nur einigermassen befriedigende Einsicht in den wahren Sachverhalt nicht zu erlangen sein dürfte.

Die früher bereits (S. 288) gestreifte Ansicht, dass durch jene ausgedehnten Waldabtreibungen, welche der Fortschritt der Kultur als eine Notwendigkeit mit

sich bringt, das Klima eine bleibende Modifikation erleiden könne, ist anscheinend zuerst von Wargentin [6] und Denso [7] ausgesprochen worden. Alsdann glaubte Barrington [8] aus einer Anzahl von Stellen antiker Schriftsteller den Schluss ziehen zu dürfen, dass es in Italien und auch in anderen Teilen des vormaligen Römerreiches, vorab in den Ländern an der unteren Donau, wärmer geworden sein müsse; ehedem seien Flüsse und Meeresteile, sogar der Bosporus, zum öfteren zugefroren, während heutzutage derartiges nicht mehr erlebt werde. Dass das Mittelmeerbecken zur klassischen Zeit kältere Winter gehabt habe, glaubt auch Nissen [9]. Bis zu einem gewissen Grade passt dazu auch die Vermutung Graf Moltkes [10], dass es im kaiserlichen Rom viel gesünder als im päpstlichen gewesen sei, und dass etwa das X. Jahrhundert den Wendepunkt darstelle, von dem an es abwärts gegangen sei. — Was hier für Europa angenommen war, suchte Williamson [11] auch für Nordamerika zu erweisen, indem er auf Grund der Angaben pennsylvanischer Landwirte es als seine Ueberzeugung aussprach, dass in den nordwestlichen Staaten von 1720 bis 1770 eine Annäherung des vorher echt kontinentalen Klimas (S. 272) an den maritimen Typus stattgefunden habe. Die gefürchteten Nordweststürme seien seltener geworden, und da deren durchdringende Kälte ein Haupthindernis für die Anpflanzung des Rebstockes sei, so werde sich diese wohl künftig möglich machen lassen; das trifft wirklich zu, hat aber doch mutmasslich andere Gründe. An Williamsons Untersuchung knüpfte diejenige von Rappold [12] an, welche recht umfassend alle in Betracht kommenden, eine Klimaveränderung bedingenden Momente zusammenstellt, als da sind: Waldverwüstung, Bodenkultur, Austrocknung der Seen und Sümpfe, kosmische Ursachen, wie z. B. die Veränderung der Ekliptikschiefe (I, S. 258). W. Hamilton, der um dieselbe Zeit sich mit den vom Volksmunde behaupteten Veränderungen des Klimas von Irland beschäftigte [13], mochte dieselben nicht gänzlich leugnen; allerdings aber seien, so meinte er, Umgestaltungen des Bodens dafür minder massgebend gewesen, und die Hauptschuld daran, dass die Winter milder geworden seien, treffe den Atlantischen Ozean, der mit weitaussehendem Blicke als der grosse Wettermacher von Europa („the vast and potent Arbiter of our Seasons") anerkannt wird (vgl. S. 305). Die „Aktion" des Meeres sei seit dem XVII. Jahrhundert eine intensivere, die Stürme seien energischer geworden, aber eben damit sei auch eine Herabsetzung der winterlichen Kälte eingetreten. — Die Anschauungen der genannten Gelehrten machte Gronau [14] zum Gegenstande einer tiefgehenden, kritischen Untersuchung, als deren Ergebnis er das bezeichnete, dass, wenn man aus den mittelbaren Indizien einer Veränderung des Ackerbaus, der Bodengestaltung u. s. w. auf eine Veränderung des Klimas schliessen wolle, wahrscheinlich viele an sich bedeutsamere Gründe geschichtlicher, sanitärer, volkswirtschaftlicher Art unberücksichtigt gelassen worden seien. Als solche führt Gronau die mittelalterlichen Pestwanderungen und das Umsichgreifen der kulturfeindlichen Türkenherrschaft an. Aehnliches wendet auch Gilbert gegen die von Barrow verteidigte Hypothese ein [15], dass durch die wechselnde Art und Weise, wie das polare Treibeis sich in den nördlichen Meeren verteile, die dortigen Küsten eine wechselnde klimatische Beeinflussung erfahren sollten. Dass das Klima Norwegens nicht konstant sei, war auch die mehrfach zum Ausdruck gebrachte Meinung Vargas Bedemars [16], der als Motiv zum einen Teile die fortschreitende Abholzung, zum anderen Teile aber „nicht zu bestimmende Revolutionen im Dunstkreise" in Anspruch nahm. In dieselbe Klasse von Arbeiten gehören auch noch einigermassen diejenigen von Chladni [17] und v. Nau [18], indem allerdings dabei auch diejenigen Fragen berührt werden, welche zu einer allgemein-terrestrischen Klimaverschlechterung in Beziehung stehen.

Mehr Eindruck machte in der wissenschaftlichen Welt Aragos [19] Versuch des Nachweises, dass zwar für die östlichen Mittelmeerländer eine namhafte Veränderung der Durchschnittstemperatur nicht eingetreten sei, dass dagegen in Frankreich — und auch in Toskana — die Sommer allmählich kühler geworden seien. Die Isothermen sollten eine Neigung haben, südwärts zu wandern; Grönland, von den Normannen gewiss nicht ohne Grund das „grüne Land" genannt, sei allmählich unter der Einwirkung dieses Umstandes das frostigste Eiland der Gegenwart geworden. Schon Kepler [20] hatte auf diese angebliche Metamorphose angespielt. Auch andere Autoren hielten dieselbe für beachtenswert, so Whitney [21] und v. Czerny [22], aber einen Grundpfeiler der Hypothese vermochte Kirchhoff [23] durch die Erklärung zu stürzen, dass, wie aus den historischen

Forschungen von Rink, K. v. Maurer u. a. erhellt, der Rückgang der norwegischen Ansiedlungen in Westgrönland ausschliesslich durch eingeschleppte Seuchen, durch eine unglückliche Handelspolitik des norwegischen Mutterlandes und durch die Angriffe der „Skrälingar“ (Eskimos) herbeigeführt worden ist. Mit Arago sympathisierte übrigens, was die Abnahme der Sommerwärme Frankreichs anlangt, Blavier [24], der eine Abwendung des Golfstromes von der europäischen Küste vermutete; Lespiault [25] hinwiederum stellte eine solche Stromverlegung in Abrede, glaubte aber die stetig sich steigernde Gewalt der über sein Vaterland hinwegbrausenden Weststürme für die Verschlechterung des französischen Sommers verantwortlich machen zu sollen. — Auch für andere Länder hat man eine progressive Abkühlung zu erweisen gesucht; der Sinologe Biot [26] suchte mühsam aus den chinesischen Annalen Belege dieser Art zusammen, die jedoch keine erheblichen Aenderungen ergaben; auch Williamsons Theorie klimatischer Veränderungen im nordamerikanischen Unionsgebiete fand teils Zustimmung, teils partielle Abänderung bei Larochefoucauld, Volney, Jefferson, A. H. Newton u. a., worüber die Mitteilungen von Ideler [27] und Brückner [28] nachzusehen sind. Dass das Klima Hamburgs eine ungünstige Abänderung erlitten habe, wollte K. G. Zimmermann [29] darthun.

Irgendwelche positive Gewissheit ist, wenigstens soweit die Lufttemperatur als Masstab des Klimas in Frage kommt, durch diese an und für sich ja unzweifelhaft wertvollen vergleichend-geschichtlichen Studien nicht erbracht worden. Für die nördlichen Länder zeigte Schouw [30], für Frankreich bewies Martins [31], dass eine in äusserlichen Vorkommnissen, in augenfälligen Wahrnehmungen sich offenbarende Aenderung der Temperaturverhältnisse thatsächlich nicht zu erkennen sei, dass zu negativen Momenten auch wieder gegenteilige in Parallele gestellt werden könnten. Der negative Standpunkt, den Gronau und Ideler (s. o.) einnahmen, erhielt in der Hauptsache eine vollständige Rechtfertigung. Und kaum anders erging es im besonderen Falle der Betonung phänologischer Kriterien (Kap. VII, §. 5), als welche Rückgang der Baumgrenze, Reduktion der Weinkultur, Verschiebung gewisser Erntetermine betrachtet sein wollten. Jedenfalls dürfen wir jedoch an diesen sehr interessanten Untersuchungen, die auch die neueste Zeit noch gepflegt hat, nicht achtlos vorübergehen.

Darauf, dass in unseren Alpen die Waldvegetation früherhin höher hinaufgereicht habe, machten Kasthofer [32] und Tschudi [33] aufmerksam, während Venetz [34] die als unzweifelhaft hingenommene Erscheinung zu erklären suchte. Nach C. Schmidt [35] hat man auch auf das Zurückweichen des von den Wettertannen eingenommenen Gürtels Bedacht zu nehmen; dies sind Nadelholzbäume, welche einsiedlerisch auf den Alpenweiden bis 2000 m, in Graubünden sogar bis 2300 m emporsteigen [36]. Theobald, Muret, Coaz und andere schweizerische Alpinisten von Ruf teilen den Standpunkt Kasthofers [37], aber obwohl es ja keinem Zweifel unterliegt, dass mit der Verschiebung der Gletscherzungen, welche (s. u. in Abt. VIII, Kap. III) zu den gesichertsten Daten der Wissenschaft gehört, auch eine Verschiebung der Vegetationszonen im Hochgebirge korrespondiert, so ist es doch mehr als wahrscheinlich, dass diese Verlegung nicht sowohl einen einseitig-progressiven, sondern vielmehr einen periodischen Charakter an sich trägt. Was aber die Abwärtswanderung der polaren Waldgrenze angeht, so wurde schon von Ideler [38] an die gewaltthätigen Eingriffe des Menschen erinnert, welche ja auch schon im antiken Griechenland dem scharfen Auge Platons [39] ein „Altern der Berge“ ersichtlich machten. Kurz, ein exakter Beweis für eine durch stetig wirkende Naturgesetze bedingte Klimaveränderung ist auf diesem Wege noch nicht geliefert worden.

Zwingender erscheint auf den ersten Blick die Einschränkung der Rebgelände, zumal in Deutschland. Man erfährt von Prowe [40], dass sich der Komthur von Kurland vom Ordenshochmeister in Marienburg ein Fässchen „Thorner“ ausbat,

„wente der Wyn yarlingk hir nit is gedeyen". Weichsel- und Dünastrand sind freilich in der Jetztzeit nicht mehr mit Weinbergen besetzt. Auch Bayern war bis zum XIV. Jahrhundert ungleich mehr Wein- als Bierland [41], wie denn allenthalben in Altbayern und Franken uns der sicherlich nicht willkürlich gewählte Name „Weinberg" an Orten entgegentritt, welche heute mit dem Weinbau nichts mehr zu schaffen haben. Derselbe ist südlich der Donau sogar älter gewesen, als im sonnenbeglänzten Mainlande [42], wo man nachweislich erst um 777 Reben angepflanzt hat. Es wäre aber sehr vorschnell, die faktische Zurückdrängung des deutschen Rebbaus auf das Rheingebiet (S. 277) einzig oder auch nur vorwiegend der Klimaverschlechterung zur Last legen zu wollen, weil doch nicht anzunehmen sei, dass ehemals der Geschmack der Menschen sich auf weit niedrigerer Stufe bewegt habe [43]. Das war doch wohl der Fall, und nicht sowohl die Trinklust der Menge, sondern das Bedürfnis des christlichen Kultus hat den Weinstock auf deutschem Boden angesiedelt. Gustav Freytag, dessen Sittenschilderungen auch dieser kulturgeschichtlichen Episode gerecht werden, führt [44] einen sehr bezeichnenden Fall dafür an, dass der mitteldeutsche Wein wirklich recht schlecht war, und Schöttls dankenswerte Studie [45] über den Kampf zwischen Wein und Bier führt den Rückgang der deutschen Rebhügel, deren dereinstigen Umfang uns Nordhoffs Monographie [46] kennen lehrt, auf die seit Anfang des XIV. Jahrhunderts immerfort zunehmende Einfuhr besserer Fremdweine zurück, die namentlich seit Anpflanzung der ungarischen Hegyallya (bei Tokai; um 1350) immer mehr Anklang bei unserem Volke fanden. Wenn so viele fremdartige Einwirkungen sich geltend machen, dann ist gewiss nicht daran zu denken, dass zwischen der geographischen Verbreitung der Rebe und dem Klimacharakter eine eindeutige Beziehung ermittelt werden könnte.

Die menschliche Willkür ist allen bisherigen Ausführungen zufolge ein so einflussreiches und dabei so wenig kontrollierbares Element, dass man, solange man sich an indirekte Indizien zu halten hat, nach phänologischen Ereignissen suchen muss, denen gegenüber der freie Wille des Menschen, der nach De Candolle [47] und Trientl [48] sogar die alpine Pflanzengrenze erheblich beeinflusst, möglichst in den Hintergrund tritt. Hier bieten uns eine wertvolle Hilfe die Erntetermine, denn dass man aus reiner Laune zu verschiedenen Zeiten die Ernte länger oder weniger lang hinausgeschoben haben sollte, ist doch am wenigsten zu glauben. Wir können uns hinsichtlich dieses Punktes auf eine wertvolle Untersuchung L. Dufours [49] beziehen, die jedoch auch nur das negative Resultat ergab, dass die im XIV. Jahrhundert zwei bis drei Wochen früher angesetzte Weinlese in den Geländen am Genfer-See keinerlei Gewissheit für die Konstanz oder Nichtkonstanz des Klimas liefere. Ob nicht doch die Ernte — aber nach einer ganz anderen Richtung hin — einen Anhaltspunkt für die Beurteilung klimatischer Veränderungen zu geben vermöge, wird sich weiter unten, in §. 4 entscheiden.

Dufour erörtert auch die Möglichkeit, das Verschwinden oder Wiederauftreten gewisser Gewächse als Merkmal klimatischer Aenderungen aufzufassen. Gewiss gab es einst Oelbäume an den Ufern des Leman [50]; der letzte scheint 1829 eingegangen zu sein. Allein sie waren lediglich ein Produkt sorgsamer Gartenpflege und kamen niemals im Freien vor, so dass auch die Steuerlisten von Lausanne zwischen 1572 und 1586 zwar von Nussöl, nicht aber von Olivenöl Naturalleistungen vermerken. Natürlich gestattet das Klima auch jetzt noch die Haltung einzelner Exemplare, wie solche sich bei Montreux finden, gerade wie auch noch in den Kantonen Freiburg und Neuenburg der früher dort betriebene Weinbau, wäre er anders hinreichend lohnend, möglich sein würde. So gibt denn Dufour [51] eine verneinende Frage auf die Antwort: Besass die Schweiz früher einmal andere, feiner organisierte Pflanzengattungen, als sie ihr gegenwärtig eignen?

Bislang war einzig und allein von den Temperaturverhältnissen die Rede. Ein teilweise noch leichter durch indirekte Kriterien zu verfolgender klimatischer Faktor ist jedoch die Luftfeuchtigkeit, wie sie sich in Bewölkung und Regen sinnenfällig darstellt. Freilich stehen Feuchtigkeit und Temperatur in inniger Wechselbeziehung, und mit Fug bemerkt Partsch [52] gegen Fraas [53], eine einseitige Aenderung bestimmter klimatischer Elemente, ohne dass auch jedes der übrigen

in Mitleidenschaft gezogen werde, gehöre zu den Unmöglichkeiten. Aber trotzdem ist es gestattet, allfallsigen, leichter erkennbaren Transformationen des Feuchtigkeitsstandes einer Gegend für sich nachzuspüren, wobei eben die Rückschlüsse auf die Wärme eigens gezogen werden müssen. Wir werden jetzt eine kurze Uebersicht über die in Betracht kommende Litteratur geben, bemerken aber sogleich, dass im grossen und ganzen wenig entscheidende Thatsachen aufgefunden worden sind.

Neumann und Partsch haben mit richtigem Takte sich vorwiegend über den Wasserstand und die Schiffbarkeit der griechischen Flüsse ein Urteil gebildet und festgestellt [54], dass die „hydrographische Verarmung" Griechenlands seit 2000 Jahren jedenfalls nur unbedeutend sich gesteigert habe. — Lacour [55] hat Tycho Brahes Witterungstagebuch (S. 3) sorgfältig durchforscht, und zwar mit dem Schlussergebnis, dass Regen- und Bewölkungsverhältnisse im dänischen Sund seit 1600 keine in die Augen fallende Umänderung erfahren haben. — Der Hypothese Williamsons (S. 320) von einer zunehmenden Kalmierung des nordwestamerikanischen Klimas trat Draper [56] an der Hand von Mitteilungen über die Eisverhältnisse (Kap. VII, §. 4) der dortigen Flüsse entgegen, unter denen der Hudson am genauesten bekannt ist. — Die zahlreichen Arbeiten nordamerkanischer Meteorologen über Veränderungen der Regenmenge mit der um sich greifenden Kultivation des Bodens, wie Hazen, Dorsey, Whitney u. a., deren Brückner sämtlich gedenkt [57], mussten sich schliesslich auch mit einem „non liquet" bescheiden, weil Stimmen im einen durch ebenso gewichtige Stimmen im anderen Sinne paralysiert wurden. — Im ganzen darf man behaupten, wie dies auch Heiderich thut [58], dass bislang nur an einer Erdstelle die Frage der historischen Klimaveränderungen noch nicht als geklärt gelten kann. Dass man den Einfluss des Waldes, der ja innerhalb gewisser Grenzen ein unleugbarer ist, mehrfach überschätzt habe, davon mussten wir uns oben schon (S. 288) überzeugen, und auch ein anderer Eingriff in die Natur, die Austrocknung selbst sehr ausgedehnter Sümpfe, hat sich nach Heintz [59] als ein gar nicht besonders wirksames Ereignis erfunden.

Jene Gegend, welche wir soeben als noch strittig bezeichneten, ist die nordafrikanisch-südasiatische Wüstengrenze, der eine stetige Verschiebung in nördlicher Richtung zugeschrieben worden ist. Wir besitzen in Th. Fischers Abhandlung [60] über das Mittelmeerklima einen sehr zuverlässigen Führer auf diesem schwierigen Boden; dazu sind dann noch neuere Nachrichten gekommen, welche sich nur in der gleichen Richtung interpretieren lassen [61]. Am Südrande der Subtropenregion (S. 298) sollen im Laufe der letzten zwei Jahrtausende die — an sich kümmerlichen — Winterniederschläge seltener geworden sein; auf mehreren Oasen, insonderheit auf der palmyrenischen, seien Quellen versiegt; die geschichtlich beglaubigten Weideplätze der sinaitischen Halbinsel seien verschwunden; in Persien habe man neuerdings das Austrocknen von Seen beobachten können; kurz es seien Beweise genug dafür vorhanden, dass ein Vordringen der Wüste in geschichtlicher Zeit erfolgt sei. Auch in Zentralasien sollte ein gleiches zu konstatieren sein [62], und für Australien wollte sogar (S. 289) v. Lendenfeld [63] den Fortschritt der „Verwüstung" mit den angeblich dort nachteilig wirkenden Baumanpflanzungen in Verbindung bringen — eine Auffassung, welcher mit Brückner [64] auch viele Andere nicht beipflichten werden. — Gegen die von weiten Kreisen gebilligte Lehre Fischers hat Partsch Stellung genommen in einem Vortrage [65], der durch feinsinnige und positive Kritik einiges Aufsehen erregte. Ihm zufolge muss die traurige Wahrheit, dass in der That um den 34. Parallel herum die Spuren menschlicher Kulturthätigkeit seltener geworden sind, der Gleichgültigkeit des Orientalen und politischen Katastrophen aufgebürdet werden; der Quellenreichtum der fraglichen Gegend sei wesentlich noch der gleiche; der Charakter der Tierwelt habe sich ebensowenig erkennbar geändert; die Nilhochflut habe noch zu Volneys [66] Zeit sich auf der gleichen Höhe, wie im grauen Altertum erhalten. Von besonderem Gewichte aber war der an der Hand archäologischer Befunde geführte Nachweis [67], dass die Salzsee-Gegend der tunisischen Schotts sich in der späteren römischen Kaiserzeit ganz in dem nämlichen Zustande befunden habe, wie noch jetzt. — In seiner Erwiderung auf Partschs Darlegungen betonte Fischer [68] nochmals nachdrücklich das zoogeographische

Moment, indem im südlichen Barka Rind und Pferd sich gänzlich vor dem im Wüstenklima erprobteren Kameel hätten zurückziehen müssen.

An eine vollkommene Konkordanz der Meinungen ist ersichtlich noch nicht zu denken. Auch wir gestatten uns kein abschliessendes Urteil, sondern halten an der schon angedeuteten Anschauung fest, dass die Methode der indirekten Kriterien zwar sehr viele Anregung für das Studium der Klimaveränderungen gebracht habe, dass man aber auch nicht allzu hohe Anforderungen an jene stellen dürfe. Eine endgültige Entscheidung darüber, ob ein Land oder ein Ort tiefer gehenden klimatischen Aenderungen ausgesetzt gewesen sei, ist auf dem Wege der Sammlung mittelbarer Indizien nicht zu erbringen.

§. 3. **Direkte Kennzeichen für geschichtliche Klimaveränderungen.** Eine solche Entscheidung muss vielmehr auf einem anderen Wege angestrebt werden. Hat man metrische Aufzeichnungen zur Verfügung, so ist es verhältnismässig leicht, die Vergleichung anzustellen, aber leider sind eben solche Register älteren Datums, welche sich über einen längeren Zeitraum erstrecken, nicht häufig. Relativ minder selten sind dieselben in der Schweiz, wo nach Dufour (s. o.) Beobachtungsreihen von Genf (Deluc) und von Basel (D'Annone und Socin) vorliegen, aber zur Gewinnung eines gesicherten Blickes in das Wesen der Klimaveränderungen erweisen auch sie sich unzulänglich. Sie pflegen eine Entscheidung weder nach der einen noch nach der anderen Seite hin zu ermöglichen.

Von 1740 bis 1746 nahm J. Gessner, wie Wolf berichtet [69], in Zürich genaue Regenmessungen vor, und aus den von ihm überlieferten Zahlen geht hervor, dass dort die mittlere Regenmenge seit mehr denn hundert Jahren sich nicht beträchtlich geändert haben kann. — Buchan untersuchte [70] eine 94jährige Reihe schottischer Thermometerbeobachtungen und vermochte aus denselben keine irgend erheblichen Abweichungen der Winter- oder Sommerwärme herauszulesen. Die in klimatologischer Hinsicht recht genau bekannte Lombardei schien allerdings Temperaturschwankungen unterworfen zu sein, aber irgendwelche Regelmässigkeit derselben war Celoria [71] nicht aufzuzeigen im stande, so wie auch Dove [72] durch die mit 1770 beginnenden Witterungstabellen von Berlin und New Haven für einen siebzigjährigen Zeitraum keine bedeutenden Oszillationen der Luftwärme erhielt. Die längste Serie von Temperaturmessungen dürfte wohl von Rizzo [73] der Bearbeitung unterzogen worden sein, und auch sie liess ersehen, dass seit 150 Jahren die Luftwärme in Turin keine grossen Veränderungen erfahren haben kann.

Man sieht sofort, dass auch dieses Hilfsmittel, obschon an und für sich untadelhaft, zu grossen Erfolgen nicht verhelfen kann, weil es nur ganz gelegentlich angewendet werden kann. Wir kommen eben nicht über die ungünstige Thatsache hinaus, dass erst seit kurzer Zeit der regelmässige meteorologische Beobachtungsdienst in grösserem Stiele eingerichtet worden ist. Allein man kann doch fragen, ob es nicht Kennzeichen gibt, welche, an sich zwar zunächst indirekt, doch bei richtiger Verwertung die Bedeutung von direkten erlangen können. Solche gibt es nun allerdings, und es ist das Verdienst Brückners, auf dieselben nicht bloss hingewiesen, sondern sie auch sogleich gründlich im Dienste des obschwebenden Problemes ausgenützt zu haben. Es sind dies in erster Linie die Niveauverschiebungen abflussloser Seen, welche den gewünschten Dienst in vollstem Mafse leisten;

in zweiter Linie kommen auch die Niveauveränderungen von Flüssen und Fluss-Seen, sowie die Schwankungen der Gletscher in Betracht.

Wir vermeiden es, von Seespiegelschwankungen zu sprechen, denn wenn wir das Wort Schwankung in seinem üblichen Sinne nehmen, involviert es das Vorhandensein einer festen Achse oder eines festen Punktes. Wenn wir uns aber die verschiedenen Oberflächen, welche ein Gewässer zu verschiedenen Zeiten aufweist, noch so weit ausgedehnt denken, so schneiden sie sich, weil sie parallel sind, doch nicht, oder wenigstens nicht in einer im Endlichen gelegenen Linie, und darum ist die Bezeichnung „Verschiebung" die zutreffende. Auf die Vorstösse und Rückgänge einer Gletscherzunge passt dagegen die Benennung „Schwankung" ganz gut.

Nachdem Brückner [74] für eine Anzahl geschlossener — oder doch wenigstens nur mit schmalen Ausgängen versehener — Wasserbehälter eine Prüfung der Pegelstände durchgeführt hatte, glaubte er eine gewisse Regelmässigkeit im Auf- und Absteigen derselben zu bemerken, gerade wie dies auch zuvor schon Swarowsky [75] für den Neusiedler-See in Ungarn, einen durch die Variabilität seines Wasserinhaltes seit alter Zeit bekannten See, ermittelt hatte. Die vorläufige Benachrichtigung [76] des erstgenannten Geographen erregte berechtigtes Aufsehen, und die bald nachher erschienene selbständige Schrift, deren oben bereits gedacht wurde, hat die Verwendbarkeit des neuen Instrumentes zur Untersuchung regelmässiger klimatischer Veränderungen auf direkt-indirektem Wege über jeden Zweifel erhoben.

Wenn irgendwo ein Wasserbecken auf der Erde existiert, welches sich ganz besonders gut zu dem Zwecke eignet, den Indikator für Klimaschwankungen abzugeben, so ist das gewiss der Kaspische See. Er ist von bedeutender Grösse, ringsum fast von Stationen umgeben, an denen schon längst Pegelbeobachtungen angestellt werden, und entbehrt vollkommen jedes Abflusses, da die lange Zeit gehegte Ansicht, sein Wasser ströme unterirdisch zum Pontus ab — eine nach Wisotzki [77] im XVII. Jahrhundert eifrigst ventilierte Ansicht — sich als gänzlich haltlos herausgestellt hat. Die wechselnde Wasserführung der in den See mündenden Flüsse gestattet ebenfalls eine ziemlich genaue Abschätzung, so dass mithin die Unterlage gegeben ist, von welcher aus eine Bilanz der Einnahme und Ausgabe des Sees gezogen werden kann. Die Einnahme ist eine zweifache, denn ausser den Flüssen und Bächen steuert bloss der Regen bei, während die Ausgabe einzig auf Rechnung der Verdunstung (Kap. II, §. 11) zu setzen ist. Gesetzt nun, es sei durch Vergleichung zweier Pegelstände von dem Abstande h ermittelt, dass in der Zeit t, welche zwischen der Erreichung dieser beiden Niveaugrenzen verstrich, eine Wassermenge m_1 durch die tributären Gewässer, eine Wassermenge m_2 durch die Niederschläge zugeführt wurde, während der Verdunstungsverlust in der Zeit t mit der Zahl v in Rechnung gesetzt werden kann. Nehmen wir der Einfachheit halber ferner die Form des Seebeckens als eine parallelepipedische, die Grösse der Oberfläche als durch f gegeben an, so besteht offenbar folgende Gleichung:

$$f h = m_1 + m_2 - v.$$

In Wirklichkeit sieht diese Fundamentalbeziehung etwas weniger einfach aus, da zumal auch die Abschüssigkeit der Wände beachtet sein will, aber im Prinzipe wird man sich immer an eine Beziehung dieser Art halten müssen. Die linke Seite darf als ziemlich genau bekannt angenommen werden; wären nun auch für m_1 und m_2 gute Näherungswerte vorhanden, so wüsste man, wie viel Wasser in der Zeit t verdunstet ist. Die Verdunstungsgrösse liefert aber ein sehr brauchbares Kriterium zur Beurteilung des Klimas; ist dasselbe ein trockenes, so wird in gegebener Frist weit mehr Wasser sich verflüchtigen, als dies in einem feuchten Klima möglich ist.

Nur wenige unter den Seen, welche ihrer Natur nach zu klimatischen Seen sich eignen, befinden sich in einem Kulturgebiete, welches die Grösse h mit der wünschenswerten Genauigkeit zu messen gestattet. Glücklicherweise sorgt auch wieder die Natur selbst für Auskunftsmittel. Aeltere, höhere Wasserstände hinterlassen vielfach an den umgebenden Felswänden Uferspuren in Form geradliniger Marken, mittelst deren man die Wasserabnahme genau kontrollieren kann. So wurde, nach Gilberts Ermittelungen [78], die Mulde von Utah, in der sich noch jetzt grössere Seen finden, in der früheren Quartärzeit durch den gewaltigen Lake Bonneville eingenommen, aus dessen scharf ausgeprägten Uferlinien auf

einen Flächeninhalt des Seespiegels von mindestens 50 000 qkm zu schliessen ist. Allerdings muss man sich zuvor eine Gewähr dafür verschafft haben, dass die Vermehrung oder Verminderung des Wassers ausschliesslich auf klimatische Einflüsse, nicht aber zugleich auf geologische Veränderungen, Stauungsprozesse u. dgl. zurückzuführen ist. In Kap. I und II der siebenten Abteilung werden uns Vorkommnisse dieser letzteren Art in Verbindung mit dem Uferlinienprobleme begegnen. Auch dann, wenn gänzliches Eintrocknen und Wiederauffüllen eines Beckens durch einwurfsfreie Zeugnisse konstatiert werden kann, besitzt die Klimaforschung einen festen Anhaltspunkt. So konnte Russell [79] aus den Niveauverschiebungen des Georg-Sees das Vorhandensein australischer Klimaschwankungen erschliessen.

Weit weniger als die abflusslosen Seen eignen sich die Fluss-Seen zur Kontrolle der Niederschlags- und Verdunstungsbeträge. „Die abflusslosen Seen," so äussert sich Brückner [80], „gleichen die mannigfachen kleinen Oszillationen des Regenfalles aus und geben nur die grossen Wellen der Klimaschwankungen wieder; die Fluss-Seen dagegen sind verurteilt, auch den geringen Oszillationen zu folgen." Und ganz das nämliche gilt auch für die Flüsse [81]. Man wird also, wenn man Flusspegelstände zum Vergleiche heranzieht, mit grosser Vorsicht zu verfahren haben, kann sich aber, wenn einmal vermittelst der abflusslosen Seen ein Ergebnis erzielt ist, zur weiteren Bestätigung auch jenes an sich minderwertigen Materiales bedienen. Verlässiger sind wieder die Gletscher. Ohne den sachlichen Ausführungen in Abt. VIII, Kap. III vorzugreifen, dürfen wir doch auch hier, als von einer bekannten Sache, davon sprechen, dass die Gletscherausdehnung in jedem Augenblicke durch den Stand der Luftwärme und Luftfeuchtigkeit bedingt ist. Schwankt die Länge eines Gletschers in regelmässigen Zeiträumen hin und her, so werden Schwankungen der bestimmenden klimatischen Faktoren von vornherein als wahrscheinlich vorauszusetzen sein.

Nähere und tiefere Einsicht in den Zusammenhang ist durch E. Richter [82] und C. Lang [83] angebahnt worden, deren Arbeiten an anderem Orte [84] im Zusammenhange gewürdigt wurden; allerdings hatte A. Heim [85] bereits es als Erfahrungsthatsache hingestellt, dass, wenn man die zu wenig bekannten Polarländer ausnehme, überall auf der Erde die Perioden des Vor- und Rückschreitens der Gletscher zeitlich miteinander übereinstimmten. Richter hatte dann bemerkt, dass nicht sowohl der Wechsel wärmerer und kälterer, wohl aber der Wechsel regenärmerer und regenreicherer Jahresreihen das massgebende Moment zu sein schienen. Daran anknüpfend, verglich Lang die Niederschlagsverhältnisse je einer Anzahl von Stationen am Nord- und am Südrande der Alpen, und da die zugehörigen Niederschlagskurven einen wesentlich parallelen Verlauf zeigten, so durfte ein analoger Parallelismus auch für die zwischenliegende Alpenkette angenommen werden. In Frage kam zunächst nur der östliche Teil der Alpen, aber für den westlichen führte Forel [86] die entsprechende Untersuchung, und mit einem in der Hauptsache identischen Resultate, durch. Selbstverständlich braucht es einige Zeit, bis die veränderten meteorologischen Verhältnisse auf die Gletschermasse verändernd eingewirkt haben, so wie ja auch die grösste Tageshitze nicht dem höchsten Sonnenstande, sondern einem 1^h bis 2^h späteren Zeitpunkte entspricht. Es kann Richters Erfahrungssatz in folgender Form als korrekter Ausdruck des wirklichen Sachverhaltes betrachtet werden: Auf mehrjährige Perioden stärkerer Regen- und Schneefalltendenz folgt ein Vorstoss, auf Perioden schwächeren Regenfalles folgt ein Schwinden der Hochgebirgsgletscher. Wenn wir also die Schlussfolge umkehren, so haben wir ein neues, in seiner Art zuverlässiges Prüfungsmittel für die vermuteten klimatischen Zyklen gewonnen.

§. 4. **Klimaschwankungen von kürzerer Periode.** Wir wenden uns nun im einzelnen den Untersuchungen von Brückner zu, denen

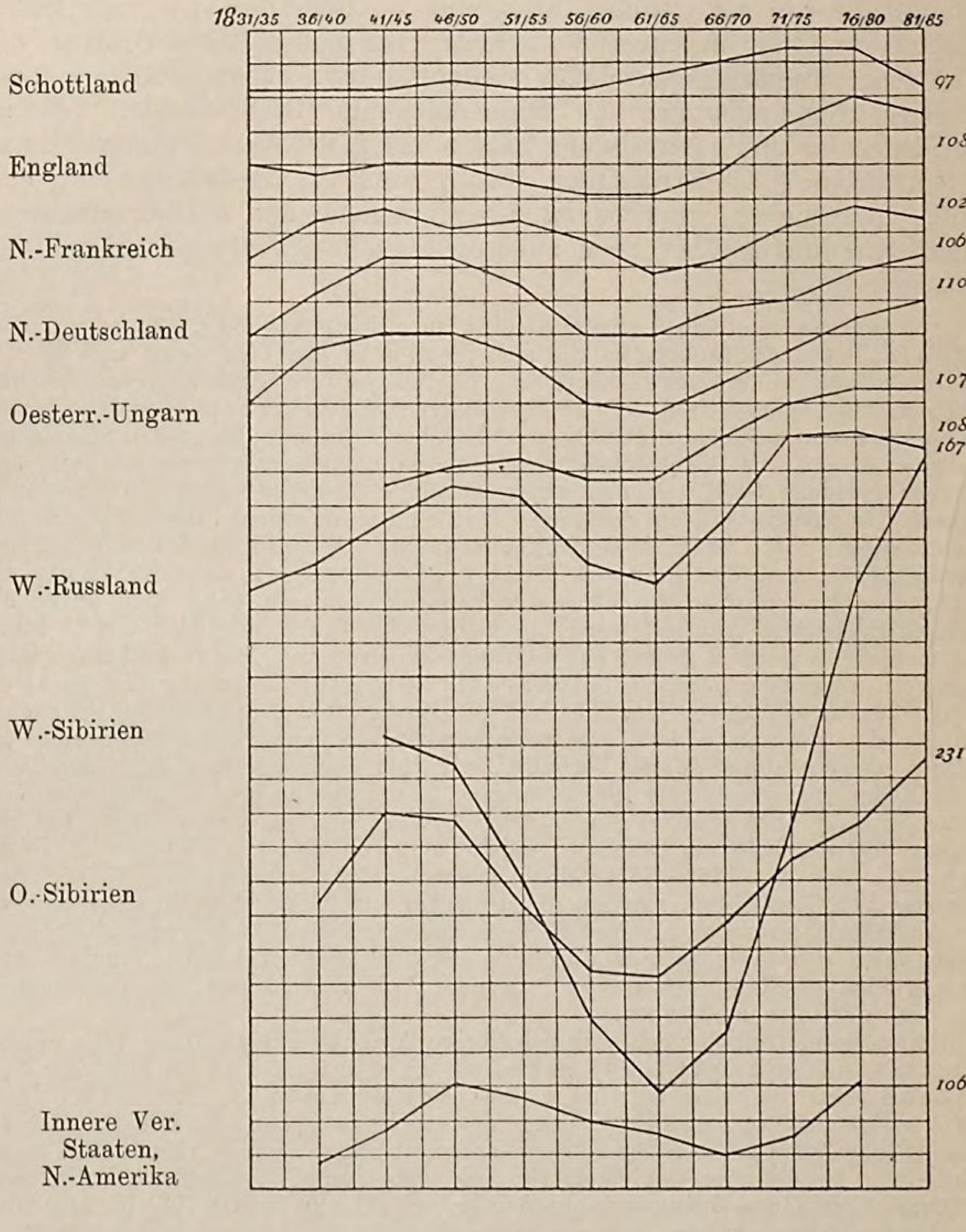
von meteorologischen Fachmännern in den wichtigsten Punkten Zustimmung geschenkt wurde [87]. Wie schon erwähnt, dienten die Niveauverschiebungen des Kaspischen Meeres, über welche eine ältere Studie von Kämtz [88] und eine neuere von Filipow [89] vorlag, als Prüfstein; auch andere russische Arbeiten, von Lenz, Sokolow, Chanykow, konnten zur Bestätigung herangezogen werden. Weitere Beiträge brachten Siegers Untersuchungen über die hocharmenischen Seen [90] und — in der Beschränkung, welche wir stets bei Seen mit Abfluss als gegeben erkannten — über die innerafrikanischen Seen [91]; auf diese Vorarbeiten hin konnte dann Sieger [92] selbst eine zusammenfassende Darstellung dessen geben, was man über die Niveauverschiebungen der Binnenseen um 1888 wusste. Die an amerikanischen und australischen Seen erkannten Uferverlegungen, deren wir vorhin (in §. 3) Erwähnung thaten, sind von Brückner [93] einlässlich besprochen, und es ist von ihm auch den freilich nur spärlichen Mitteilungen über Seen anderer Erdteile gebührende Beachtung geschenkt worden.

So gelang es denn, zunächst eine unverkennbare Schwankung des Regenfalles nachzuweisen, so wie sich dieselbe in den Figuren 65 und 66 ausspricht. Sieger allerdings hatte (s. o.), da ihm ja nur enger begrenzte Bezirke zur Disposition standen, ein nicht synchrones Eintreten der Maximalepochen für verschiedene Punkte der Erdoberfläche stipulieren zu müssen geglaubt; es schien ihm die geographische Länge von einigem Einflusse zu sein, und südlicher gelegene Seen schienen unter gleichem Meridiane eher als nördlicher gelegene den Höchststand zu erreichen. Brückner dagegen, dessen Material sich gleichmässiger über die Erde verteilte, entnahm seinem Diagramme (s. o.) die Folgerung [94]: Auf der ganzen Erde treten die Seen wesentlich gleichzeitig in ihre Hoch- und Niederwasserperiode ein. Was an 38 abflusslosen Seebecken ermittelt ward, bestätigte sich durch Vergleich mit 13 Fluss-Seen und ebensovielen Flüssen, und es fand sich, von wenigen Ausnahmegebieten abgesehen, vollkommene Gleichzeitigkeit gleichsinniger Epochen auf der ganzen Landoberfläche der Erde [95]. Die speziellen Schwankungen des Regenfalles, von welchen man, falls das vorstehende Ergebnis ein richtiges ist, ein konkordantes Verhalten erwarten darf, passen sich in der That, wie Brückners Diagramme [96] ausweisen, den früheren an. — Ueber das Verhältnis der drei oben (S. 325) eingeführten Grössen m_1, m_2 und v haben die von Sieger [97] bearbeiteten Tabellen, welche Brisse und De Rotrou in ihrem Werke [98] über den 1854—76 trocken gelegten Lago di Fucino (Celaner-See, Abruzzen) veröffentlichten, manche für die Frage der Klimaschwankungen verwertbare Aufklärung erbracht. Selbst in Zeiträumen raschen Ansteigens ist $m_2 < v$, so dass also der Zuwachs nur durch m_1 bewirkt werden kann. Trocken- und Nässeperioden glaubte auch Brisse in dem Auf- und Abschweben des Spiegels jenes Sees erkennen zu können.

Nun stand freilich noch eine schwierige Aufgabe bevor: Was für einen klimatischen Hauptfaktor erkannt war, musste auch für die beiden anderen hervorragend wichtigen Elemente, für Luftdruck und Temperatur, nachzuweisen versucht werden. Da mit der Trockenzeit ein über Europa lagernder Rücken hohen Druckes zeitlich und kausal korrespondiert, so konnte man, wenigstens für den bestbekannten Weltteil, beide Faktoren in innere Verbindung bringen, sobald man aus Hanns Schrift [99] (S. 316) über europäische Luftdruckverteilung die Schwankungen der Jahresperioden der Barometerstände kennen gelernt hatte. Eine Trocken- und eine Regenperiode haben jeweils ihre charakteristische Luftdruckverteilung [100]; wenn also letztere gegenüber der Feuchtigkeitsperiode sich synchron verhält, so ist dargethan, dass beide auch ursächlich zusammengehören. Schliesslich wurde ein gleichgearteter Untersuchungsgang auch für die Temperatur durchgeführt, und wenn man alsdann die für längere Zeiträume ausgeglichenen Mittelwerte von Temperatur, Luftdruck und Regenfall im Kurvenschema nach Brückner [101] zusammenordnet, so wie es Fig. 68 darstellt, so tritt ein auch vom ungeübten Auge

nicht zu verkennender Parallelismus zu Tage. Koinzidenz-Differenzen bis zu fünf Jahren sind freilich vorhanden, aber es wäre viel eher zu verwundern, wenn angesichts einer so umständlichen, grösstenteils mit sprödestem Zahlen- und Datenstoffe operierenden Forschung alle Maxima und Minima genau übereinstimmten. — Die Ausnahmen, welche sich der Regel weniger gut fügen wollen, sind die subtropischen Länder mit ihren so eigenartigen Regenverhältnissen (S. 289) und die nordöstliche Ecke der Vereinigten Staaten. Es kann somit nicht auffallen, dass Woeikow [102] im Verlaufe der Aequiglazialen (S. 255) für den Hudson-River

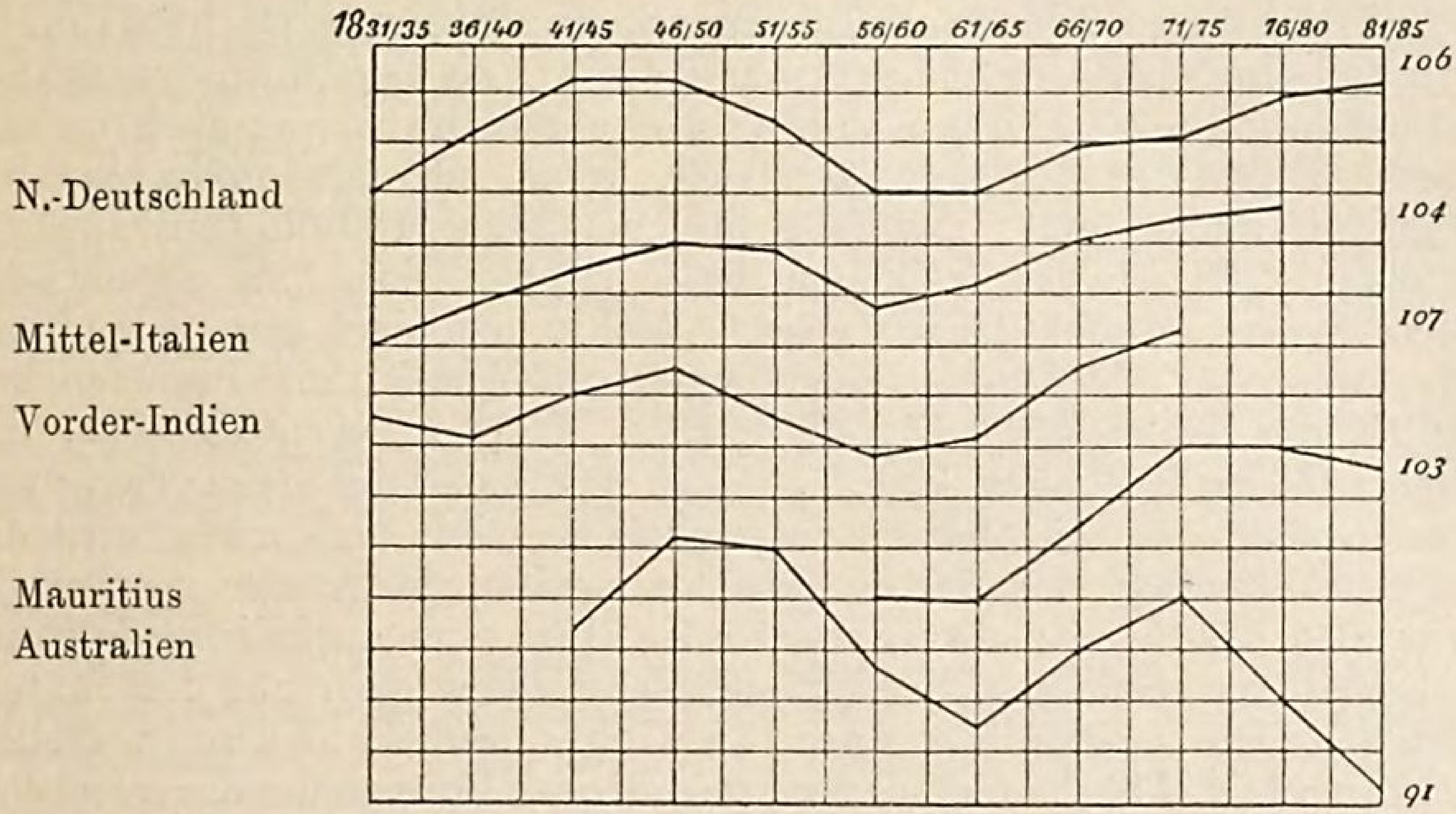
Fig. 65.



das sonst bewährte Schwankungsgesetz nicht wiederzuerkennen vermochte. Selbstredend bedarf es noch grosser Anstrengungen, um die empirische Begründung des Gesetzes noch straffer zu gestalten, das Zahlenmeer, aus dem der Forscher zu schöpfen gezwungen ist, durchsichtiger zu machen. „Es müsste," meint Woeikow [103], „irgend ein Mittel gefunden werden, um das Monatsmittel jeden Jahres, Luftdruck, Lufttemperatur und die Höhe von Gewässern, die Monatssummen desgleichen für Niederschlag und die Tage des Gefrierens der Gewässer, jedes für sich, für 200 gut gewählte Stationen der Erde zu drucken."

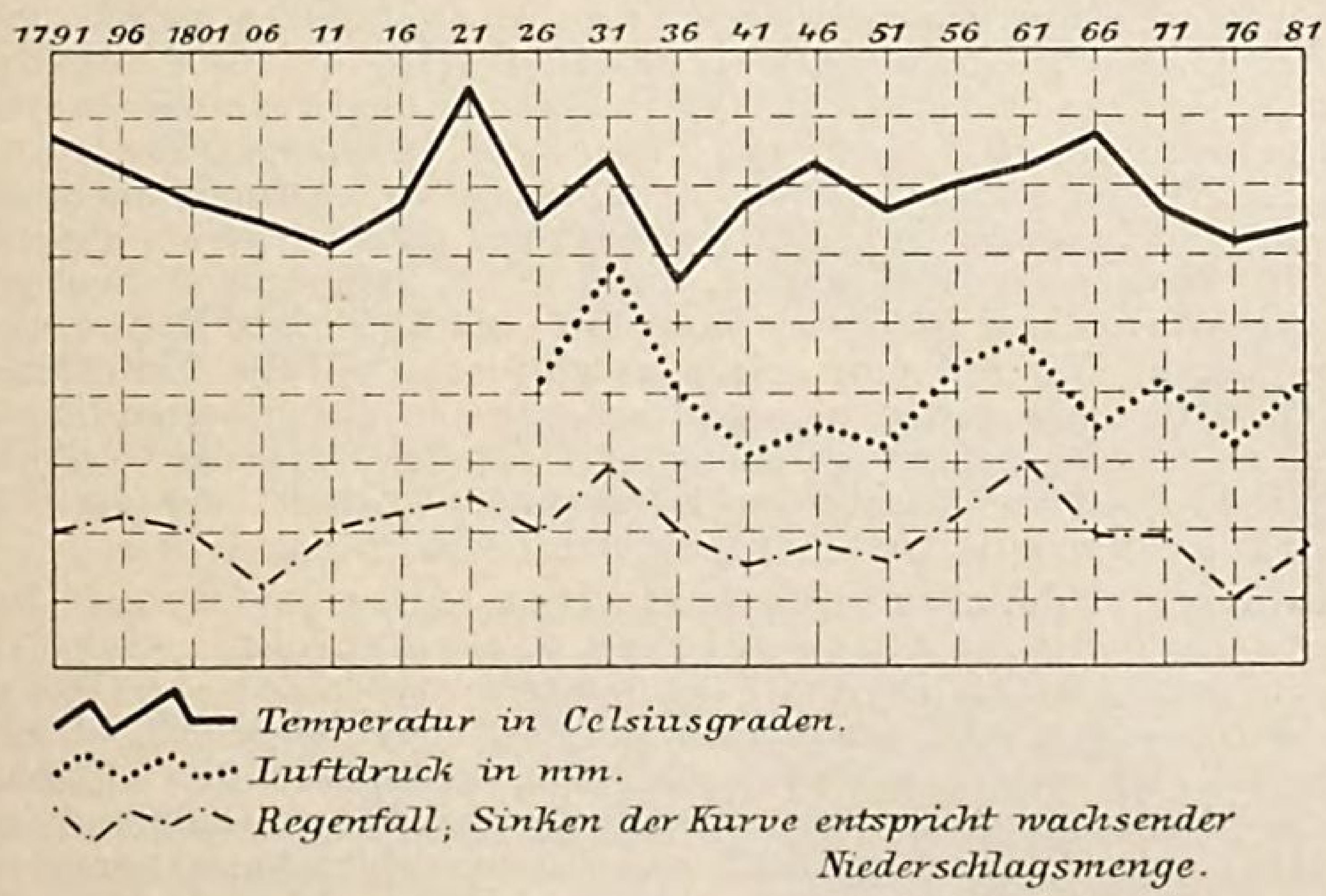
Perioden der Weinernte hat zuerst Fritz [104] für wahrscheinlich erklärt, und später noch hat derselbe [105] „eine gewisse Uebereinstimmung zwischen Wein- und Getreideerträgen eruiert“, die aber in manchen Zeiträumen, so von 1774—85, sich geradezu in das Gegenteil verkehrte. Dann hat Angot [106] in einer allgemeineren Betrachtung über die Ernten Frankreichs, den interessanten

Fig. 66.



Nachweis geführt, dass eine eigentümliche Verspätung der Weinlese, wie man sie (vgl. S. 322) in der Schweiz erlebte, auf französischen Boden nicht herübergegriffen hat. Auch Brückner hat sich angelegentlich mit der Sache beschäftigt und gefunden [107]: „Die Schwankungen des Termines der Weinernte markieren durchaus ebensogut die nachgewiesenen Klimaschwankungen, wie Temperatur und Regenfall.“ In einem gewissen Zusammenhange damit steht die Periodizität kalter Winter.

Fig. 67.



Es gibt sonach meteorologische Zyklen, wie solche die Astrometeorologie durch Anwendung unzureichender Methoden (Kap. V) zu finden sich so heiss bemühte, wie sie aber auch in fortgeschritteneren Zeiten von verschiedenen Forschern

geahnt wurden [108], so z. B. von Hann [109] als er das Wort aussprach: „Sicherlich werden die Wirkungen des Wechsels von Perioden der Trockenheit und grösserer Regenmengen zu wenig berücksichtigt.“ Noch aber wissen wir nicht, welches die Durchschnittsdauer einer Periode ist, während deren eine trocken-warme Jahresserie mit einer feucht-kühlen wechselt.

Brückner bestimmt [110] die Länge der Periode auf 34,8 ($\pm$ 0,7) Jahre, so dass man also sagen kann: Wenn eine bestimmte klimatische Phase heute eingetreten ist, so darf man erwarten, dass man nach 35 Jahren wieder dieselbe Phase vor sich haben wird. Diese Periodenlänge lässt sich, wenn man alle indirekten Indizien mit hinzunimmt, ungefähr bis zum Jahre 1000 n. Chr. zurückverfolgen. Es ist das freilich nicht so zu verstehen, als ob nun die Zahl 35 eine absolut genaue wäre. Wohl aber darf man behaupten, dass, wenn für die Längen einer gegebenen Anzahl von Perioden bezüglich die Zahlen $35 \pm k_1$, $35 \pm k_2 \ldots 35 \pm k_n$ ermittelt sind, die Summe $(35 \pm k_1 + 35 \pm k_2 + \ldots + 35 \pm k_n)$ sich nur ganz wenig von dem Produkte n . 35 (Jahre) unterscheiden wird, und zwar wird die Uebereinstimmung eine um so grössere werden, je grösser n wird, je mehr also das Gesetz der grossen Zahlen seine ausgleichende Kraft zu bethätigen vermag. Die Perioden schwanken eben um den Mittelwert 35. Die täglichen und jährlichen Schwankungen stellen nach Supan [111] die einfachsten, primitivsten Formen der das Wechselspiel der klimatischen Faktoren regelnden Periodizitäten vor; die nächsthöhere Form spricht sich aus in Brückners Klimaschwankungen von 35jähriger Periode; nächstdem gibt es aber wahrscheinlich noch Oszillationen von stets sich verlängernder Dauer, welche in letzter Instanz nur noch in den geologischen Zeitaltern zur Geltung und den Menschen zum Bewusstsein kommen.

Eine oder die andere Schwankung von kürzerer zeitlicher Amplitude kann recht wohl noch neben derjenigen, welche wir soeben zu studieren bestrebt uns haben, einhergehen; jene Wellenkurve, welche die oszillatorische Veränderung des Klimas graphisch darstellt, ist thatsächlich durch Uebereinanderlagerung einer ganzen Anzahl von Einzelwellen entstanden zu denken. Dass uns die letzteren sämtlich bekannt seien, haben wir keinen Grund zu erwarten, um so weniger, da manche derselben vielleicht nur ganz schwach ausgeprägt sind. Wenn z. B. Woeikow [112] angibt, in den St. Petersburger Beobachtungen alternierende Wärme- und Kälteperioden von 6- bis 18jähriger Dauer erkannt zu haben, so könnte dies auf eine solche untergeordnete Welle hinweisen. Diese Nebenwellen heften sich gewissermassen als Zacken an die grösseren Undulationen an, und so ist es auch keineswegs unmöglich, dass die 35jährige Welle nur eine Deformation der weitaus mächtigeren Klimawellen darstellt, auf deren Existenz Blytt durch botanische Untersuchungen geführt worden ist.

Eine Anregung dazu, aus den Schichten eines Torfmoores Schlüsse auf die Bedingungen, unter welchen diese Schichten sich bildeten, zu ziehen, wurde bereits im XVIII. Jahrhundert von Runeberg [113] gegeben. An diese Wechsellagerung in den Mooren knüpft Blytts eigene, in verschiedenen Publikationen [114] erläuterte Theorie an. Man kann, wie dies mit besonderer Deutlichkeit bei Ablagerungen der norwegischen Landschaft Gudbrandsdalen hervortritt [115], einen Wechsel von Tuff- und Lehmschichten konstatieren, der sich mit den anderwärts in Skandinavien zu beobachtenden Folgeschichten von Moor und Wurzelstöcken zeitlich parallelisieren lässt. Nimmt man, wie dies am nächsten liegt, an, es habe jeweils zur Bildung der Moor- und Tufflagen eines feucht-kühlen, zur Entstehung der Wurzel- und Lehmlagen dagegen eines trocken-warmen Klimas bedurft, so weist das nordische Vorkommen auf vier Klimaperioden hin, welche sich in der jüngsten geologischen Epoche, die man als Alluvialzeit bezeichnet, und an deren Ende die Gegenwart steht, abgelöst haben. Als oberste

Ursache dieser Veränderungen betrachtet Blytt Gestaltveränderungen der Erdbahnellipse, wie wir sie im nächsten Paragraphen zu untersuchen haben werden, indessen sollen diese kosmischen Verhältnisse nicht direkt, sondern durch ein Medium hindurch auf das Klima wirken. Als dieses Medium haben wir dem norwegischen Forscher zufolge die Meeresströmungen anzuerkennen. Wenn der Winter mit der Sonnenferne zusammenfällt, wird der Strom zunehmen, und wenn der Winter mit der Sonnennähe zusammenfällt, wird der Strom einschwinden [116]. Speziell der Golfstrom, unter dessen Einwirkung das skandinavische Klima unzweifelhaft steht, würde also, je nach dem wechselnden Stande von Sonne und Erde, in ungeheuer langen Zeiträumen bald mehr, bald weniger feuchte Wärme aus den Tropen den höheren Breiten zuführen, und dieses Mehr oder Weniger spräche sich in den uns bekannten Schichtenbildungen aus. — Die phytologische Basis der Blyttschen Theorie wurde oben als eine durchaus tragfähige hingenommen, um eben das darauf aufgebaute Lehrgebäude richtig würdigen zu können. Es hat aber C. König [117] gerade diese Grundlage lebhaft angegriffen, indem er, mit besonderer Beziehung auf die von Jentzsch [118] durchgeführte Klassifikation der ostpreussischen Moore, betonte, dass — je nach der lokalen Sachlage und der sonstigen Grundbeschaffenheit — unter sonst recht ähnlichen Verhältnissen sich sehr verschiedene Torfmoorgattungen, und ebenso umgekehrt, herausbilden könnten; auch dürfe, da man mit dem Wachstum der Moore und den dieses regelnden Gesetzen zu wenig bekannt sei, auf die eingeschlossenen Pflanzenreste keine Zeitbestimmung gegründet werden, die Anspruch auf höhere Genauigkeit mache.

Ehe wir der neuen Aufgabe näher treten, welche durch Blytts Arbeiten der Klimatologie gestellt sind, und welche freilich auch früher schon gestellt und zu lösen versucht worden war, müssen wir noch einem Bedenken gerecht werden, welches sich einem jeden aufdrängen muss, der die Darlegungen dieses Paragraphen mit denen von Kap. V, §. 5 vergleicht. Auch dort war eine Periode, die elfjährige, als ein gesichertes Ergebnis der Wissenschaft angesprochen worden, und so muss denn wohl die Frage aufgeworfen werden: Besteht ein Zusammenhang der bis jetzt ermittelten klimatischen Perioden mit der Periode der Sonnenfleckenfrequenz? Der Bescheid, den Brückner auf diese Frage gibt, ist ein negativer [119]. Man kann zwischen einer Kurve der Wolfschen Relativzahlen (I, S. 77) und einer zweiten Kurve, welche den 35jährigen Klimaperioden angepasst ist, keinerlei geometrische Analogie herausfinden. Auch mangelt dieselbe, wenn man, wie W. Herschel [120] und Brückner [121], jeder von seinem Standpunkte aus, gethan haben, die Klimaperioden mit den Schwankungen des Getreidepreises zusammenstellt (vgl. S. 172). Auch Erk [122], der (S. 175) der Möglichkeit, zwischen terrestrischen Klimaschwankungen und Veränderungen der Sonnenstrahlung einen Kausalzusammenhang zu ermitteln, nicht mit voller Skepsis gegenübersteht, lehnt es doch für den Augenblick noch ab, eine direkte Beeinflussung der grossen wetterbildenden Aktionszentren (S. 182), durch deren Verschiebung auch das Klima in Mitleidenschaft gezogen wird, durch die Fleckenfrequenz als Thatsache zugegeben. Hier bleibt der Folgezeit noch ein reiches Arbeitsfeld geöffnet.

Wir haben jetzt als nächste Pflicht die, zuzusehen, ob die relativ geringfügigen Klimaschwankungen der Menschengeschichte mit jenen ungleich tiefer greifenden Veränderungen, ja Umwälzungen, die sich in geologischer Vorzeit zutrugen, unter einen gemeinsamen Gesichtspunkt gebracht werden können. Es brauchte das ja nicht der Fall zu sein; jene Veränderungen können ja wohl auch einen nichtperiodischen Charakter getragen haben. Um hierüber ins klare zu kommen, bedarf es vorerst einiger Kenntnis der klimatischen Verhältnisse in früheren Zeitaltern überhaupt.

§. 5. **Die Klimate der geologischen Vorzeit.** Erst in der achten Abteilung (Kap. I) kann auf das Aussehen, welches die Oberfläche unseres Planeten in den einzelnen Stadien seiner Entwickelung bis zum gegenwärtigen Zustande darbot, näher eingegangen werden. Nur so

viel müssen wir jetzt gleich vorausschicken, dass die Verteilung von Wasser und Land unausgesetzt wechselte, und dass von einer Permanenz der Kontinente und Weltmeere nur sehr bedingt gesprochen werden kann, sowie dass auch die Luftzusammensetzung von der uns heute bekannten (Kap. I, §. 7) ganz gewaltig abwich. Schon diese Umstände konnten klimatische Unterschiede von gewaltiger Tragweite hervorrufen; wir brauchen bloss an Zenkers Untersuchungen (S. 276) oder an Woeikows [123] Begriffsbestimmung der Kontinentalität und Ozeanität zu erinnern, weil eben je nach der wechselnden geographischen Verteilung des festen und flüssigen Elementes das Klima im Sinne eines dieser beiden Begriffe variieren musste. Es sind aber auch noch kosmische Veränderungen denkbar, welche auf die atmosphärischen Verhältnisse der Erde ihren Rückschlag üben mussten.

Einige Definitionen, welche im Systeme erst am bezeichneten Orte ihre Stelle finden können, müssen wir hier vorausnehmen, weil sie zum Verständnis der folgenden Ausführungen unumgänglich sind. Wir unterscheiden in der Geschichte des Erdballes nach den entweder gar nicht oder in mehr oder minder der Neuzeit fremdartiger Organisation sich vorfindenden Lebewesen (ζῶον, Tier) eine azoische, paläozoische, mesozoische und känozoische Aera, welche jede wieder in mehrere grosse Perioden und in eine Fülle kleinerer zeitlich-stratigraphischer Unterabteilungen zerfällt. Im Mesozoikum unterscheiden wir z. B., von unten nach oben gerechnet, Trias, Jura und Kreide; im Känozoikum Tertiär und Quartär; und zwar zerfällt ersteres wieder in Eozän, Oligozän, Miozän, Pliozän; letzteres wieder in Diluvium und Alluvium (s. o.). Die Entscheidung darüber, ob während eines gegebenen Zeitabschnittes eine bestimmte Erdgegend Land oder aber von Tiefsee, Flachsee, Süsswasser bedeckt war, liefert die Beschaffenheit der dortselbst angetroffenen fossilen Tier- und Pflanzenwelt. Der grosse Naturforscher Wallace, der sich um die Erforschung der Natur der Inseln unsterbliche Verdienste erwarb [124], ist der Begründer der Ansicht von einer relativen Unveränderlichkeit der Kontinentalsockel, die von Anderen entschieden geleugnet wird. Hier können die Gründe für und wider noch nicht abgewogen werden, und es sei nur zur einstweiligen Orientierung auf Oppenheims [125] Aufsatz verwiesen, der die ablehnende Haltung der Mehrzahl der neueren Geologen zur Geltung bringt. — Während der primordialen Zeitalter haben wir uns die jetzt (S. 16) an Kohlensäure ziemlich arme Luft als mit sauren Gasen schwer beladen vorzustellen, und auch später noch nahm der Kohlensäuregehalt nur langsam ab, teilweise unter dem reinigenden Einflusse der nunmehr in fossilen Brennstoff übergegangenen Pflanzenwelt, mit deren Bedeutung für die Zerlegung des atmosphärischen (Kohlen-)Dioxyds uns namentlich die ausgedehnten Untersuchungen von Brongniart [126] bekannt gemacht haben.

Die Trennung, welche wir bei den klimatischen Veränderungen der Gegenwart und jungen Vergangenheit gemacht haben, wird sich auch bei denjenigen der geologischen Aeren vorteilhaft erweisen. Wir können uns kosmische und tellurische Ursachen denken, welche das Klima stetig, und zwar immer im gleichen Sinne, beeinflussen; es gibt aber auch solche, deren Einwirkung sich nur periodisch zu manifestieren vermag. Beide Gruppen von Einflüssen wollen getrennt für sich behandelt sein.

§. 6. Stetig wirkende Ursachen klimatischer Veränderungen. Hier tritt uns zuerst die soeben erörterte Frage des variablen Kohlensäuregehaltes entgegen. Svante Arrhenius hat [127] dieselbe einer gründlichen Untersuchung unterworfen und gezeigt, dass die Temperatur der Erdoberfläche eine Funktion des Kohlensäuregehaltes der

Atmosphäre ist. Je grösser derselbe ist, um so wärmer wird es, wenn sonst alle Verhältnisse völlig gleich sind, auf der Erde sein.

Die Experimentaluntersuchungen von Paschen [128] haben zu der gesicherten Erkenntnis verholfen, dass die von Langley (S. 264) im Sonnenspektrum gefundenen dunklen Banden mit den Absorptionsstreifen von Wasserdampf und Kohlensäure sich decken. Nicht sowohl die Einstrahlung, als vielmehr die Ausstrahlung (S. 266) der Sonnenwärme wird sonach durch die atmosphärische Kohlensäure modifiziert, und zwar in der Weise, dass durch verminderte Ausstrahlungsfähigkeit die von der Sonne übermittelte Wärme an der Erdoberfläche mehr zurückgehalten wird. Würde sich die Menge der in der Luft enthaltenen Kohlensäure um das Zwei- bis Dreifache vermehren, so würde die mittlere Temperatur die Mitteltemperatur der Zirkumpolarregionen sich um 8 bis 9 Grade erhöhen, und umgekehrt würde die Abnahme jener Quantität um rund 40 Prozent eine Temperaturerniedrigung von 4 bis 5 Graden zur Folge haben. Der genannte Physiker fasst die Eiszeit als eine Epoche stark verminderten Kohlensäuregehaltes auf, deren Ursache vielleicht in vulkanischen Veränderungen zu suchen wäre. Es wird niemand die Bedeutung und die relative Berechtigung einer solchen an sich tadellosen Schlussreihe, ebensowenig aber die Thatsache verkennen, dass die starke Herabsetzung des atmosphärischen Kohlensäuregehaltes in der älteren Diluvialzeit einigermassen als Deus ex machina erscheint. Es ist doch unzweifelhaft eine progressive Tendenz der steten Verminderung der Menge jener chemischen Verbindung in der Atmosphäre vorhanden, und eine plötzliche Wiedervermehrung hat etwas Unwahrscheinliches an sich. Jedenfalls fällt es schwer, in einer solchen die einzige Ursache der grossen Vergletscherungsperiode anzuerkennen.

In der Hauptsache gehört hieher auch die Hypothese von Dubois [129], obwohl dieser Autor mit seiner Grundvorstellung auch die Zulässigkeit gewisser periodischer Schwankungen zu vereinbaren sucht. Derselbe greift zurück auf die früher (Abteil. I, Kap. I, §. 8) auseinandergesetzten modernen Ansichten über die Entwickelungsgeschichte der Fixsterne und glaubt, dass ein solcher Stern in seinem gelben Stadium grossen Veränderungen in der Intensität seiner Strahlung und Lichtemission unterworfen sei. Da auch die Sonne zu jenen Fixsternen gehört, so müssen die erwähnten Veränderungen sich auch in der Wärmeökonomie der zugehörigen Planeten fühlbar machen. Woeikow [130] hat die Vor- und Nachteile dieser Auffassung gründlicher Erörterung unterzogen.

Auch diesmal ist das Prinzip, von welchem ausgegangen wird, ein unangreifbares. Verdunkelungen, wie sie Dubois zu Hilfe nimmt, kommen vor und müssen vorkommen, bis endlich (vgl. S. 60) die Leuchtkraft der Sonne derart abgenommen haben wird, dass jener Abkühlungszustand der Erde, den man bisher nur als einen temporären kennen lernte, der regelmässige und dauernde geworden sein wird. Eiszeiten wechseln dann mit Interglazialzeiten, die nur gewissermassen als ein Rückfall in frühere, günstigere Verhältnisse zu betrachten sind und vermutlich immer kürzer werden, ohne dass darin irgend ein periodischer Rhythmus zu erkennen wäre. In einer solchen Interglazialperiode leben wir nach Dubois gegenwärtig. Von den Gegengründen ist namentlich ein geologischer hervorzuheben, den Woeikow anführt [131]. Wären kosmische Einflüsse bei der Entstehung der terrestrischen Klimaschwankungen vorwiegend im Spiele, so müssten jene paläontologischen Zeugen eines dereinst weit wärmeren Klimas, wie man sie da und dort findet, doch eigentlich überall in polaren und subpolaren Gegenden anzutreffen sein. Davon ist jedoch keine Rede; in Ostsibirien und in den Hudsonsbayländern ist man noch niemals auf Reste tertiärer Organismen gestossen. Hier war eben das Klima stets ein kontinentales, und diesem Umstande scheint mithin eine höhere Bedeutung beizumessen zu sein, als selbst den gewiss einflussreichen Strahlungsverhältnissen. Man sieht, dass dieses Argument Woeikows gegen jede mit astronomischen Ursachen operierende Theorie der Vereisungsperioden in die Wagschale gelegt werden kann.

Nur vorübergehend soll daran erinnert werden, dass auch die Annahme (I, S. 342), das die Erde als Bestandteil in sich schliessende Sonnensystem durchwandere bei seiner Bewegung (I, S. 280) verschieden temperierte Stellen des Intrastellarraumes, für die Erklärung anormaler Temperaturdepressionen verwertet werden könnte. Frankland [132] erwähnt dieses Auskunftsmittels, ohne sich aber selbst für dasselbe erklären zu wollen. Selbst wenn man die Möglichkeit zugestehen wollte, müsste man doch damit zugleich den Verzicht auf jede ursächliche Begreifung der in Rede stehenden Phänome eingestehen, da wir über die angeblich verschiedene Temperatur so gut wie nichts wissen.

Teilweise mit derjenigen von Svante Arrhenius (s. o.) verwandt, nur von etwas allgemeinerem Charakter ist eine von De Marchi [133] aufgestellte Hypothese. Die Ein- und Ausstrahlungsverhältnisse der Erdluft sollen damals, als ein grosser Teil der Erde vergletschert war, andere als jetzt gewesen sein.

Da der italienische Meteorologe als einen Hauptgrund für die von ihm vermutete Veränderung im Verhalten der Atmosphäre die Veränderungen in der Verteilung von Wasser und Land angesehen wissen will, so klingt seine Hypothese schon an diejenigen an, welche in §. 8 zu behandeln sind. Dass eine Abnahme des Wertes des Transmissionskoëffizienten (S. 263) einem Vorrücken des arktischen Klimas in gemässigte Breiten und andererseits wieder eine Vergrösserung jener Zahl einer Ausbreitung milderer Temperaturen gegen die Pole hin Vorschub zu leisten vermöchte, wird sich nicht bestreiten lassen.

§. 7. Periodisch wirkende Ursachen klimatischer Veränderungen.

Eine grössere Anzahl von Astronomen hat in der regelmässig-periodischen Wiederkehr gewisser kosmischer Ereignisse den wahren Grund der irdischen Klimaschwankungen aufzeigen zu können vermeint. Befinden sie sich im Rechte, so muss auch auf die Wiederkehr solcher Zeitalter, in denen Temperatur- und Feuchtigkeitsverhältnisse der Erde einen für das Wohlbefinden des Menschen sehr unvorteilhaften Charakter annehmen, mit Sicherheit gerechnet werden können. Bei der Vielgestaltigkeit der im Kosmos wirkenden Anziehungskräfte wird Hypothesen dieser Art ein weiter Spielraum eröffnet sein. Die bemerkenswertesten unter ihnen wollen wir jetzt kennen lernen, und zwar soll unsere Darstellung im grossen und ganzen die geschichtliche Reihenfolge wahren.

a) Die Hypothese von Rohde. Die Arbeit [134] des preussischen Genieoffiziers J. P. v. Rohde leitet die ganze geistige Bewegung ein, deren Kennzeichnung dieser Paragraph gewidmet sein soll, und ist gleichwohl der neueren Zeit, vielleicht eine einzige Ausnahme [135] abgerechnet, ganz aus dem Gedächtnis entschwunden. Aus Laplaces „Mécanique Céleste“ folgte der Schluss, dass abwechselnd für jede Erdhalbkugel ein Ueberschuss des Winterhalbjahres über das Sommerhalbjahr in gleichbleibender Periodizität eintreten müsse; für diesen periodischen Wechsel gebrauchte Rohde die nicht unzutreffende Benennung der Jahreszeiten höherer Ordnung. Die Sonne bewegt sich — so kann man mit Vertauschung des feststehenden und des beweglichen Gestirnes der Bequemlichkeit halber sich ausdrücken — in einer elliptischen Bahn um die Erde; L sei die wahre, l die mittlere Länge des Sonnenmittelpunktes in dieser Bahn, $(L - p)$ dessen wahre, $(l - p)$ dessen mittlere Anomalie, wenn unter diesen Namen bezüglich der Winkel verstanden wird, den die von der Sonne nach dem Mittelpunkt und nach dem Brennpunkt der Bahnellipse gezogenen Fahrstrahlen mit der grossen Achse einschliessen. Der zwischen beiden Fahrstrahlen liegende Winkel ist dann $(l - L)$. Wenn dann ferner ε die Exzentrizität der Ellipse (I, S. 155), ε' die Epoche des letzten Durchganges der Sonne durch die Erdnähe (eigentlich der Erde durch den Punkt des Periheliums), t die der Länge l entsprechende Zeit und T die Länge des siderischen Jahres bedeutet, so gelten angenähert die nachstehenden Gleichungen:

$$(1-p)\,T = 2\pi\,(t-\varepsilon'),$$

$$l = L + 2\varepsilon \sin(L-p) + \frac{3}{4}\varepsilon^2 \sin 2(L-p) + \frac{1}{3}\varepsilon^3 \sin 3(L-p),$$

$$\frac{2\pi\,(t-\varepsilon')}{T} = L - p + 2\varepsilon \sin(L-p) + \frac{3}{4}\varepsilon^2 \sin 2(L-p) + \frac{1}{3}\varepsilon^3 \sin 3(L-p).$$

Mit t', t'', t''' sollen nun diejenigen Werte von t bezeichnet werden, welche aus der letzten Gleichung folgen, wenn man darin L resp. gleich 0°, 180°, 360° setzt; bildet man hierauf die Differenzen $(t''-t')$ und $(t'''-t'')$, so erhält man, falls noch $2\,T\,(\varepsilon \sin p + \frac{1}{3}\varepsilon^3 \sin 3p) : \pi = x$ gesetzt wird,

$$t''-t' = \frac{1}{2}T + x, \quad t'''-t'' = \frac{1}{2}T - x.$$

Der Zeitunterschied der beiden Halbjahre, welchen wir D nennen wollen, ist dann durch die Gleichung

$$D = \frac{1}{2}T + x - \frac{1}{2}T + x = 2x = \frac{4T\varepsilon}{\pi}(\sin p + \varepsilon^2 \sin 3p) = 7^d{,}6969$$

gegeben, wenn man nämlich für p den dem Jahre, auf welches sich die Berechnung bezieht, zugehörigen Wert einsetzt. Zu Null wird D, wenn $p = 0$ ist, wenn also Apogäum und (Frühlings- oder Herbst-) Aequinoktium zeitlich zusammenfallen. Sobald aber ein solcher Termin des Verschwindens von D vorüber ist, tauschen beide Hemisphären ihre Rollen. Damit ist der mathemathische Kommentar zu jenen Betrachtungen nachgeliefert, welche bereits früher (S. 260) über die Verlegung des Erdperiheliums (resp. Sonnenperigäums) angestellt wurden. Nur ist noch ε als konstant vorausgesetzt worden, was nicht strenge zutrifft; denn die Exzentrizität ist selbst veränderlich und lediglich an die Ungleichungen $0{,}07775 > \varepsilon > 0{,}00331$ (S. 259) gebunden. Nimmt man auch darauf die gebührende Rücksicht, so kann D auf den Maximalwert von 31^d ansteigen. Diese Berechnung v. Rohdes ist sogar noch etwas zu gering, da neuere Untersuchung 36^d ermittelt hat [136]. Besondere Konsequenzen über die Art und Weise, wie sich die ungleiche Beteilung beider Erdhälften mit Licht und Wärme klimatisch äussern möge, wurden noch nicht gezogen; dies überliess v. Rohde seinen Nachfolgern, welche, wie sich zeigen wird, sämtlich auf der durch ihn gelegten Grundlage stehen, ohne dies zu wissen.

b) Die Hypothese von Adhémar. Nach Adhémar [137], dem Julien [138] und Le Hon [139] mit grossem Eifer sekundierten, bilden sich um den Pol jener Halbkugel, welche gerade den längeren Winter hat, Eisanhäufungen, welche bewirken, dass der Erdschwerpunkt gegen den betreffenden Pol hin sich verschiebt. Dann aber werden die Meere gleichfalls gegen die statisch bevorzugte Halbkugel hinfluten, und die begonnene Uebereisung der Polarkalotte wird Material erhalten, um sich auch gegen gemässigtere Breiten hin auszudehnen. Um die Mitte des XIII. Jahrhunderts war Juliens Berechnung [140] zufolge die günstigste Zeit für die nördliche Erdhälfte eingetreten, und von da ab geht dieselbe langsam schlechteren Zeiten entgegen, bis nach Umfluss von 10 500 Jahren deren höchste Steigerung erreicht sein wird. Man kann, ohne sich auf Einzelheiten einzulassen, doch jedenfalls behaupten, dass Adhémar den Linearbetrag der aus der Eishaubenbildung entspringenden Schwerpunktverschiebung ganz ungeheuer überschätzt hat. Die zur genaueren Bestimmung dienenden Formeln sind an anderem Orte zusammengestellt worden [141]. Uebrigens gibt es solche massiven Eisschalen ganz gewiss nicht, wie sie Adhémar annahm und auch Bruchhausen [142] für seine Lehre von den Sintfluten verwertete. Auch Pilars Versuch [143], von der Adhémarschen Hypothese das mögliche zu retten, kann heute, da sowohl unsere klimatologische Einsicht wie auch unser thatsächliches Wissen von der Beschaffenheit der Polarländer entsprechende Fortschritte gemacht hat, diesen seinen Zweck nicht mehr erreichen.

c) Die Hypothese von Schmick. Zahlreiche Schriften [144] dieses fruchtbaren Schriftstellers variieren den uns bekannten Grundgedanken in folgender Weise: Infolge der Veränderungen in der Gestalt der Erdbahn (s. o.) sind

successive verschiedene Punkte der Erdoberfläche der Sonne am nächsten; es wird das Meer in der Nähe jener Punkte besonders stark angezogen, und es kommen so, alternierend für beide Halbkugeln, besonders energische Sonnenhochfluten zu stande. Subsidiär geht nebenher eine Verschiebung des Erdschwerpunktes durch die einer bestimmten Stelle zuströmenden Wassermassen, ähnlich wie bei Adhémar. Die Schmicksche Lehre fand manchen Freund, aber doch noch mehr Widersacher. So wandte sich v. Schilling [145] gegen Schmicks Berechnung der Pegelmessungen von Sydney, welche letzterer zu einem Hauptstücke seiner Beweisführung ausersehen hatte, und Zöppritz [146] deckte die physikalischen Unrichtigkeiten des Systemes auf, welches Pilar [147] auch unter dem geologischen Gesichtspunkte bekämpfte. Die von Schmick zu Hilfe genommenen Niveauverschiebungen verschiedener Meere, vorab der Adria und des Schwarzen Meeres, waren niemals auch nur annähernd so stark [148], wie sie im Sinne der fraglichen Hypothese sein müssten, und vor allem war die Nadirflut (Abt. VI, Kap. IV), welche doch stets einen ziemlichen Bruchteil der Zenitflut ausmacht, in Rechnung zu ziehen vergessen worden. Heute wird von der Umsetzungshypothese wenig mehr gesprochen; sie trat völlig in den Hintergrund gegen eine innerlich weit fester fundierte Konkurrenzhypothese, und dies ist

d) Die Hypothese von Croll. Dieselbe, von ihrem Urheber scharfsinnig verteidigt [149], hat in geologischen Kreisen vielfach Anklang gefunden; zu ihren Anhängern gehört neben Wallace (s. o.) zumal auch Geikie, dessen neuerdings in einem selbständigen Werke [150] dargelegte, durch Brückner [151] auch unserem Lande bequem zugänglich gemachte Auffassung von der sechsmaligen Wiederkehr der Eiszeit in den Ansichten Crolls eine treffliche Stütze findet. Dieselben haben, wie sich von selbst versteht, manches mit denjenigen seiner Vorgänger gemein, unterscheiden sich von ihnen aber wesentlich in dem Punkte, dass nunmehr das Hauptgewicht auf die Meeresströmungen und deren chronische Umlagerung gelegt erscheint. Auf der einen Hemisphäre häufen sich Schnee und Eis an, während auf der anderen das gefrorene Wasser mehr und mehr sich mindert. Auf der kalten Halbkugel verstärken sich die Dauerwinde, in erster Linie die Passate, und auf der warmen Halbkugel tritt eine Schwächung derselben ein. Nun sind aber die Meeresströmungen nach Intensität und Richtung (vgl. Abt. VI, Kap. V) abhängig von den Dauerwinden, und so strömt denn das Wasser lebhafter gegen die warme Erdhälfte ab, indem es dabei selbst sich erwärmt und so das Klima der Halbkugel, welcher es zufliesst, noch wärmer, dasjenige der ohnehin kalten Halbkugel noch kälter machen hilft. Es wirken somit wieder mehrere Agentien zusammen, um den mittleren Wärmeunterschied zwischen den beiden Hemisphären zu einem immer ausgesprocheneren zu gestalten. Man sieht, was Blavier (S. 321) und Blytt (S. 330) nur auf den besonderen Fall bezogen wissen wollten, wird von Croll generalisiert. — Während Wyville Thomson [152] den ozeanographischen Teil der Theorie billigte, wurde derselbe von J. Ball [153] und Woeikow [154] bestritten, und auch Hann [155] stellt sich auf die Seite dieser Kritiker. Aber auch in prinzipieller Hinsicht sind Einwendungen von Newcomb [156], North Rice [157] und Fisher [158] geltend gemacht worden. Der letztere leitet folgende Proportion her:

$$(1+\varepsilon)^2 : (1-\varepsilon)^2 = (S+A) : (S+U);$$

hierin ist uns ε (s. o.) bereits bekannt, S ist die Temperatur des Weltraumes, A die Temperatur irgend eines Ortes auf der Südhalbkugel im Januar, U diejenige des Antökenpunktes im Juli. Solange nun S (I, S. 101) eine absolut unbekannte Grösse sei, könne über die Beziehungen zwischen A und U nicht mit einiger Sicherheit geurteilt werden. Uebrigens kann sich Woeikow (s. o.) auch nicht mit Crolls Methode, Erdtemperaturen aus dem Maſse der Sonnenstrahlung herzuleiten, völlig einverstanden erklären. Wiewohl sonach die Crollsche Hypothese gewiss sehr ernst genommen und von jedem Forscher auf diesem Gebiete eine Auseinandersetzung mit ihr verlangt werden muss, so reicht sie doch keinesfalls hin, die Phänomene der Eiszeiten in völlig befriedigender Weise kausal darzustellen. Und das gelingt auch nicht derjenigen, welche sich ihr zunächst anschliesst.

e) Die Hypothese von Ball. Dieselbe ist, abgesehen von der Originalabhandlung R. Balls [159], namentlich auch durch einen sinnreichen Demonstrationsapparat von K. Haas [160] erläutert worden, während Culverwell [161] den

Nachweis führte, dass, wenn auch die Prämissen unbedingt zugegeben werden, die daraus sich ergebenden Temperaturen doch nicht so niedrig ausfallen, wie es eine überzeugende Erklärung der Eiszeiten erheischen würde. Die rechnerische Grundlage, wie sie Haas abkürzend skizziert hat, lässt sich mit wenigen Zügen ersichtlich machen. Ein von der Sonne um r abstehender Halbkreis der Erdkugel erhält von ersterer, unter H und h je eine Konstante verstanden, eine Wärmemenge gleich $H : r^2$ zugesandt; wenn ferner die (nördliche) Deklination der Sonne gleich δ, das Zeitelement gleich dt und die astronomische Breite gleich β gesetzt wird, so hat man die folgenden beiden Gleichungen:

$$r^2 \, d\beta = h \, dt; \quad \sin\delta = \sin e \sin\beta.$$

Die erste derselben deckt sich mit Keplers bekanntem Flächensatze (I, S. 256); die zweite folgt aus dem sphärischen Dreiecke, welches der Frühlingspunkt, der Sonnenort und der Fusspunkt des aus der Sonne auf den Aequator gefällten Lotes bestimmen. Integriert man zuerst zwischen 0 und π, sodann zwischen π und 2π und bezeichnet mit K_1 die Gesamterwärmung der Nordhalbkugel in der Zeit zwischen Frühlings- und Herbsttagundnachtgleiche, mit K_2 die Gesamterwärmung in der anderen Jahreshälfte, so wird

$$K_1 = \frac{H}{h}\int_0^{\pi}(1 + \sin e \sin\beta)\, d\beta = \frac{H}{h}(\pi + 2\sin e); \quad K_2 = \frac{H}{h}\int_{\pi}^{2\pi}(1 + \sin e \sin\beta)\, d\beta = \frac{H}{h}(\pi - 2\sin e).$$

So findet man

$$K_1 : K_2 = (\pi + 2\sin e) : (\pi - 2\sin e) = (\text{appr.})\ 63 : 37.$$

Die Exzentrizität der Erdbahn ist in diesem Verhältnis nicht enthalten, wie vor Ball bereits Wiener [162] festgestellt hatte; erstere beeinflusst bloss die Differenz in der Zeitdauer von Sommer und Winter, welche dann ein Maximum wird, wenn die Verbindungslinie der beiden Aequinoktialpunkte senkrecht auf der grossen Bahnachse steht; die Zeitdifferenz steigt nach Ball auf 33^d an (vgl. S. 334). Der lange und strenge Winter einer Eiszeit, so wird angenommen, würde so viel gefrorenes Wasser produzieren, dass der kurze Sommer es nicht hinwegzuschmelzen vermöchte. Während die eine Halbkugel sich im Eiszeitstadium befände, hätte die andere ihre Interglazialzeit, und die Zeit zwischen zwei konsekutiven Eiszeitextremen der gleichen Erdhälfte wird, wie auch von anderen, auf 10500 Jahre berechnet. Allein der Kalkul gilt nur für eine Hemisphäre im ganzen, während für die einen bestimmten Parallel treffenden Verhältnisse die nähere Angabe vermisst wird. Setzen wir $2\sin e : \pi = a$, so können wir mit G. H. Darwin [163] auch folgendes aussagen: Die Tageserwärmung im kurzen Sommer verhält sich zu derjenigen im langen Winter wie $\frac{1}{5}(1 + a) : \frac{1}{6}(1 - a)$, und in der Interglazialzeit ist umgekehrt das Erwärmungsverhältnis gleich $\frac{1}{6}(1 + a) : \frac{1}{5}(1 - a)$, so dass die Extremwerte der täglichen Erwärmung das Verhältnis $6^2 : 5^2$ einhalten. Die Grösse a ist aber selbst in Wahrheit eine veränderliche, und darum ist mit dieser Ueberschlagszahl nicht allzuviel gewonnen. Hieraus, sowie aus Culverwells Rechnungen, denen zufolge das solare Klima des Parallels von London zur Eiszeit nur etwa mit dem aktuellen solaren Klima des Parallels von Edinburgh übereinstimmen würde, darf man schliessen, dass auch durch Balls „astronomische Theorie“ der wahre Schlüssel zur Erschliessung der vom geologischen Eiszeitbefunde uns vorgelegten Rätsel noch nicht an die Hand gegeben ist.

Wir sahen, dass alle die Theorien, welche man auf die Lehre von den Störungen der Planeten im Sonnensysteme durch gegenseitige Gravitation begründen wollte, noch viel zu wünschen lassen, selbst wenn es sich nur um die Erklärung der Eis- und Zwischeneiszeiten als solcher handelt. Davon jedoch könnte man noch Abstand nehmen, wenn nicht noch ein grundsätzliches Bedenken von höchster Bedeutung dazu käme. Sämtlichen Hypothesen haftet der Uebelstand an, dass

sie nur eine alternierende Vergletscherung der beiden Erdhalbkugeln anerkennen und zulassen dürfen, was mit den beobachteten Thatsachen nicht in Einklang zu bringen ist. Die spezielleren Nachweise dafür sind allerdings auf Kap. III der achten Abteilung zu versparen, allein jetzt schon wollen wir doch Neumayrs [164] Aeusserung über die Hypothese eines Wechsels — womit wir alle Teilhypothesen dieses Paragraphen zusammenfassen — citieren: „Alle Beobachtungen ergeben, dass die Terrassen des Nordens und Südens gleichzeitig sind, während jene Hypothese es als eine notwendige Hypothese mit sich bringt, dass die Eiszeiten und somit die hohen Wasserstände abwechseln müssten.“ Das kann uns gegen die prinzipielle Grundlage der Lehre von den Jahreszeiten höherer Ordnung (S. 334) bedenklich machen. Und noch ein zweites Moment ist nicht ausser acht zu lassen: Periodischer Wechsel zwischen Zeiträumen kolossalen Eiswachstums und normaler klimatischer Verhältnisse ist nur für die Diluvialperiode sichergestellt, für ältere Aeren aber höchst fraglich. Damit ist denn ein weiterer Stein in dem Lehrgebäude der kosmischen Periodizität, und zwar ein Grundstein, stark ins Wanken gekommen.

Es darf allerdings nicht verschwiegen werden, dass für eine sehr alte Periode, nämlich für die Karbonzeit, klimatische Veränderungen recht wahrscheinlich geworden sind. Die gekritzten Blöcke im Bereiche der paläozoischen Glossopteris-Ablagerungen sind vielfach so gedeutet worden [165], und Potoniés [166] phytopaläontologische Wahrnehmungen gestatten am besten eine analoge Deutung. Auch ist gegen Fayes Meinung [167], dass im Paläozoikum weder klimatische noch selbst nur jahreszeitliche Gegensätze auf der Erde obgewaltet hätten, von M. Semper [168] eingewendet worden, dass gerade damals, als die karbonischen Pflanzen sich bildeten, das Klima unmöglich ein stets gleichförmiges gewesen sein könne. Allein von Störungen des klimatischen Gleichgewichtes, mögen sie auch ziemlich eingreifende gewesen sein, ist es doch noch ein weiter Weg zu klimatischen Schwankungen von regelmässiger Periode.

Nur streifen wollen wir die da und dort — früher öfter, denn in unseren Tagen — angedeutete Möglichkeit, dass eine Verschiebung der Rotationsachse im Inneren des Erdkörpers eine totale Umwälzung des Jahreszeitenwechsels und damit eine Umgestaltung der Erdklimate hervorgerufen habe. Gewiss gibt es und gab es früher periodische Lageveränderungen der Drehungsachse, doch sind dieselben (I, S. 274) ganz minimal und durchaus nicht geeignet zur Erklärung geologisch-klimatologischer Katastrophen. Welch gigantische Verrückungen notwendig gewesen wären, um etwa die Südpolarzone zu einem Lande von halbtropischem Charakter zu machen, wie dies eine ältere Paläontologenschule wollte, erhellt aus einer Abhandlung von Haughton [169]. Dazu kommen noch anderweite Erwägungen. „Ganz abgesehen davon,“ so lesen wir bei Neumayr-Uhlig [170], „dass man kaum eine Stellung der Pole finden kann, die alle Erscheinungen gut erklärt, zeigt schon das oft betonte Gleichbleiben der klimatischen Verhältnisse der einzelnen Lokalitäten zu einander, dass keine bedeutende Verschiebung stattgefunden haben kann, zu der auch die Zeit seit der Vereisung entschieden zu kurz wäre.“ — Nach dieser Seite hin sprechen, wie v. Schleinitz [171] in seiner Bekämpfung der kataklysmatischen Theorien bemerkt, namentlich die Arbeiten [172] des Marquis de Saporta über fossile Pflanzen der arktischen Gegenden eine beredte Sprache, und Howorths Wiederbelebung [173] der Lehre von einer Sintflut kann dagegen nicht aufkommen.

§. 8. **Terrestrische Ursachen der Eiszeiten.** Die Zurückführung der grossen Klimaschwankungen der geologischen Vorzeit auf kosmische Periodizitäten hat sich uns als eine prekäre Sache erwiesen. Da ist es denn wohl doppelt angezeigt, zuzusehen, ob nicht vielleicht Vorgänge rein tellurischen Charakters noch besser dazu

geeignet sind, die Thatsache, dass an sehr vielen Orten der Erdoberfläche das Klima vormals ein ganz anderes war, verstehen zu lernen. Bisher lag der Nachdruck hauptsächlich auf jenen Zeiten, welche durch grössere Kälte ausgezeichnet waren, aber es kann keinem Zweifel unterliegen, dass viele Oertlichkeiten dereinst ein viel wärmeres Klima besassen, als es ihnen gegenwärtig eigentümlich ist. Zunächst wird es darauf ankommen, die thatsächlichen Verhältnisse, wie sie durch das Studium der Versteinerungen bekannt geworden sind, kennen zu lernen.

Ein anderes Hilfsmittel, als eben die Lehre von den fossilen Lebewesen, ist zu diesem Behufe nicht wohl denkbar. Man kennt die Lebensgewohnheiten moderner Tiere und Pflanzen; wenn man nun vorweltliche Gattungen und Arten auffindet, welche von den der Gegenwart angehörigen nicht wesentlich verschieden sind, so kann man mit Fug annehmen, dass die klimatischen Existenzbedingungen der fossilen und der lebenden Organismen die gleichen sein müssen. Und wenn die Umstände vermuten lassen, dass die heutzutage unter niedriger Breite lebende Art A nahezu identisch mit einer untergegangenen Art B sei, welche in den Schichten einer höheren Breite gefunden worden ist, so darf man weiter schliessen, dass der Fundort von B damals ein ungefähr gleiches Klima besass, wie jenes, dessen sich nunmehr die Gegend erfreut, in welcher A lebt. Zumal das Vorhandensein von Meeresströmungen in früheren geologischen Zeitaltern kann auf diese Weise nachgewiesen werden. Wir nennen als Führer zum Eindringen in die hiemit umschriebenen, in der achten Abteilung noch mehrfach zu studierenden Fragen das Werk von Canu [174] und als eine treffliche Beispielsammlung die Monographie von M. Semper [175], welche vornehmlich vermittelst der Konchylienfunde das Klima der älteren Tertiärzeit zu bestimmen trachtet.

Den ersten und zugleich als Muster bedeutungsvollen Versuch, das Klima eines längst hinter uns liegenden Zeitabschnittes auf paläontologischem Wege zu erforschen, ist von Neumayr [176] gemacht worden, der sich die jüngeren mesozoischen Perioden zum Objekte ausersah. Das Eozän ist, wie schon erwähnt, die Domäne Sempers; für die spätere Tertiärzeit liegen vor allem die Arbeiten von Heer [177] und Penck [178] vor. Wir wollen wenigstens der wichtigsten Ergebnisse dieser schon durch ihr Ziel beachtenswerten Forschungen gedenken.

Neumayr musste ausgehen von der für das behandelte Zeitalter charakteristischen Verteilung von Wasser und Land, die er auch durch eine eigene Karte [179] illustriert hatte. Dieselbe macht es wahrscheinlich, dass in der Zeit, da die Juraformation der Kreideformation den Platz zu räumen sich anschickte, drei selbständige Kontinentalräume existierten: ein nearktischer, der den grösseren Teil des heutigen Nordamerika und ganz Grönland umfasste, ein brasilianisch-äthiopischer, zu dem fast ganz Südamerika, fast ganz Afrika (nebst Arabien) und der zwischenliegende Atlantische Ozean gehörten, und ein sino-australischer, Südostasien, der hinterindische Archipel und Neuholland (ohne Westaustralien). Dieser Anordnung der Länder und der — allerdings an grossen Inseln reichen — Meere entspricht es, dass die jurassischen Temperaturzonen sich von denen der Jetztzeit nicht erheblich unterschieden haben können. Man kann als auszeichnendes Moment höchstens das hervorheben, dass die gemässigten Zonen damals schmäler als heute waren, und dass die arktischen Zonen sich dem Aequator etwas mehr näherten. Im Untertertiär nähert sich das Verhältnis der beiden Elemente mehr schon dem gegenwärtigen, aber die Einzelthatsachen waren doch noch vielfach andere. Das Pariser Becken z. B. war in der Eozänzeit ständig ein Anhängsel des Atlantischen Meeres, aber erst in späterer Zeit, welche Semper als Eozän schlechtweg dem von ihm so genannten Paläozän gegenüberstellt, dringt eine warme Strömung, der Ahnherr unseres Golfstromes, in jene Bucht ein [180], natürlich auch das Klima

und den Typus der Meeresbewohner einigermassen modifizierend. — Die Petrefaktenflora verhalf Heer [181] zu dem Schlusse, dass für das obere Oligozän das Temperaturjahresmittel für Spitzbergen + 9° (zur Zeit — 8°), für die Schweiz + 20,5° (zur Zeit + 12°) betragen habe. Die Alpenflora reichte, so folgerte der genannte Botaniker weiter [182], später tief in die Thäler herab, als nach und nach dieses fast subtropische Klima einem kühleren wich. Aus Pencks Darlegungen (s. o.) geht hervor, dass Spanien während der Miozänzeit klimatisch mit dem heutigen Marokko übereinstimmte, indem auch die Nordgrenze des Passatgürtels (Kap. VI, §. 6) weiter nach Norden vorgeschoben war. Im Verlaufe der Miozänepoche scheint eine fortgesetzte Temperatursteigerung stattgefunden zu haben, welche auch im Pliozän noch anhielt, während mit dem Diluvium die Entwickelung die umgekehrte Richtung einschlug. Das Klima Steiermarks verhielt sich nach Krašan [183] analog; für das steirische Mittelmiozän ergeben sich 19° bis 20° als Mitteltemperatur des Jahres, was etwa für Madeira zutreffen dürfte. Alles in allem: Schon in der mesozoischen Aera waren die klimatischen Erdgürtel als solche herausgebildet, und von da ab bis zum Beginne der Diluvialperiode bestand der klimatische Unterschied, den modernen Verhältnissen gegenüber, in seiner Quintessenz bloss darin, dass die Isothermen sich gegen die Pole hin bewegten, bis die erste Eiszeit eine rückläufige Bewegung veranlasste.

Man kann fragen, ob für die Thatsachen, welche zunächst auf dem indirekten Wege der Fossilienforschung erhalten wurden, nicht auch durch eine mehr meteorologische Betrachtungsweise Bestätigung erstrebt werden könne. Gewiss ist dies nicht undenkbar, und nachdem Sartorius v. Waltershausen [184] zuerst den dahin zielenden Methoden eine systematische Gestalt verliehen hat, fehlte es nicht an einschlägigen Bemühungen, denen denn auch eine teilweise veränderte Auffassung der Momente zu danken ist, von deren Zusammenwirken die Eiszeiten abhingen.

Ein grosses Verdienst der ausführlichen Untersuchung, welche Sartorius v. Waltershausen durchführte, ist es, dass er den vielfach — auch von Faye (s. o.) — überschätzten Einfluss der inneren Erdwärme auf das thatsächlich vorhandene geringe Mass reduzierte; sobald einmal die Aussenpartien des Erdballes sich zu verfestigen angefangen hatten, musste (vgl. Abt. III, Kap. I, § 1) die Sonnenwärme der nahezu alleinige Regulator des Erdklimas werden [185]. Wenn der Göttinger Geologe gleichwohl das milde Miozänklima der Polarregionen noch als eine Folge der von innen kommenden Erwärmung ansieht [186], so zeigt er damit nur, dass er nicht die volle Konsequenz eines richtigen Gedankens zog. Im übrigen stellte er theoretisch Mittelwerte der Temperatur auf, welche für das homogene Klima — ein warmes Klima der ältesten und mittleren Perioden bis zur Differentiierung der Wärmegürtel —, sowie für das reine Seeklima der Tertiärzeit als charakteristische Zahlen gelten können. Niemand wird derartigen Zahlen einen unbedingten Wert beimessen wollen; je länger der Zeitpunkt, für den die Berechnung angestellt ist, zurückliegt, um so mehr steht letztere in der Luft, und wenn wir lesen, ein Pol der Silurzeit habe eine mittlere Wärme von 11,92° gehabt, so kann eine so unsichere Bestimmung keine eigentliche Bedeutung mehr beanspruchen. Allzu grosses Vertrauen auf die Zahlen Sartorius v. Waltershausens ist ein Gebrechen des sonst in mancher Beziehung recht verdienstvollen Werkes von Probst [187]. Die erwähnten Zahlwerte werden rechnerisch dahin abgeändert, dass sie sich möglichst an die durch spätere geologische Prüfung ermittelten anschliessen sollen, allein dabei läuft eine so grosse Willkür mit unter, dass die Kalkulation schliesslich noch unsicherer sich gestaltet, als sie schon im Originale war. Das Verfahren ist methodisch zu verwerfen [188], wenn es auch zu einzelnen ganz verführerisch erscheinenden Resultaten verhelfen mag.

Auf den täuschenden Schmuck numerischer Exaktheit, die ja doch für immer ein frommer Wunsch bleiben muss, verzichtet die eine neue Phase unseres paläoklimatologischen Erkennens einleitende Studie von Woeikow [189] über die Eiszeit. Dieselbe brachte namentlich in zwei

Richtungen einen entschiedenen Fortschritt. Erstlich legt man seither mehr Gewicht auf die Mitwirkung terrestrischer Vorgänge beim Zustandekommen jener Uebereisungsperioden, und zweitens hat man eingesehen, dass jene, sofern nur sonst günstige Vorbedingungen gegeben waren, auch ohne heftige Temperaturdepressionen sich einstellen konnten. In diesen beiden Hinsichten hat Woeikow in Probst (s. o.) und Semper (s. o.) Nachfolger gefunden, und auch F. v. Kerners Versuch [190], auf Grund der Neumayrschen Erdkarte der Jurazeit (s. o.) die damals herrschende Mitteltemperatur auszumitteln, darf hier angeführt werden, da selbstredend ein solcher Versuch, nachdem die Arbeiten von Spitaler (S. 251) und Zenker (S. 271) vorliegen, mit ungleich mehr innerer Berechtigung als früher unternommen werden konnte.

Schon vor Woeikow hatte Frankland den folgenden Satz ausgesprochen [191]: Die Ozeane hatten dereinst eine höhere Temperatur; demzufolge gab es über ihnen eine stärkere Verdampfung und einen ausgiebigeren Niederschlag; die Luftfeuchtigkeit wuchs auch über dem Festlande stärker an, so dass die Schneegrenze nach unten rücken und das Volumen der Gletscher sich vergrössern musste. Den quietistischen Ueberzeugungen Lyells [192] musste ebenfalls die Annahme, dass wesentlich durch veränderte Luft- und Meeresströmungen die Ausdehnung der Eismassen am Pole und im Hochgebirge bedingt sein sollte, mehr als eine kosmische Erklärung zusagen, zumal da die Hypothese einiger älterer Glazialgeologen, wie Charpentier und A. Favre, dass nämlich die Alpen einstmals eine ungleich bedeutendere Höhe besessen, also weit tiefer in die atmosphärische Kälteregion hineingereicht haben sollten [193], keine wirkliche Befriedigung zu gewähren vermochte.

Woeikow geht von dem bekannten Gegensatz zwischen Meeres- und Kontinentalklima (Kap. VII, §. 10), sowie von dem später (Abt. VI, Kap. V) zu bewahrheitenden Lehrsatze aus, dass Meeres- und Luftströmungen in engster gegenseitiger Abhängigkeit sich befinden. Da erfahrungsgemäss, wie die mächtige Gletscherentwickelung Neu-Seelands und Patagoniens darthut, die südliche Wasserhalbkugel der Bildung von Gletschern Vorschub thut, während im trockenen Hochasien anscheinend niemals diese schönste Zierde des Gebirges zu erblicken war, so ist in der ozeanischen, beziehungsweise kontinentalen Beschaffenheit eines Landes das Hauptmerkmal zu erkennen, welches dieses Land für das Auftreten einer Eiszeit geeignet oder ungeeignet macht. In Westeuropa, so lautet die vierzehnte unter den siebzehn Thesen Woeikows (s. o.), muss während der Eiszeit die Mitteltemperatur um mehrere Grade niedriger gewesen sein, als sie heutzutage ist, und gewisse Gegenden Südrusslands, welche stets ohne Wasser- und Eisbedeckung waren, müssen damals wärmer gewesen sein, als jetzt die argentinischen Pampas. Eine allgemeine Eisbedeckung der Erdoberfläche, welche vom Pole bis zum 45.° Breite gereicht hätte, braucht, ja darf sogar nicht zugegeben werden.

Besonders wichtig erscheint hier der Hinweis, dass bei beträchtlich anderer Gestaltung der Grenzlinien zwischen Wasser und Festland schon eine verhältnismässig geringe Temperaturherabsetzung ausreichte, um eine gewaltige Eisentfaltung zu erklären. Durch selbständige Schlüsse ergab sich für Brückner [194] eine ganz übereinstimmende Erkenntnis: Das Klima der Eiszeiten war nur um vielleicht drei bis vier Zentigrade kälter als das heutige. Dazu tritt dann noch Pencks [195] Ergänzung, dass eine ausgedehnte Vergletscherung sich auf ein Festland stützen muss. Von jetzt an erscheint uns das Eiszeitphänomen unter einem neuen Gesichtspunkte, und die vielfach so hoch veranschlagte Ingerenz der kosmischen Perioden tritt gegen Ursachen von rein irdischer Herkunft zurück.

Einen Mittelweg, der nicht allzuweit von dem unsrigen entfernt führt, hat auch Penck eingeschlagen [196]; der Zuhilfenahme einer Hypothese von der Art der Crollschen (§. 7) glaubt er allerdings, weil eben die diluvialen Eisperioden durch gemässigte Intervalle getrennt sind, nicht entraten zu können, aber die Verteilung von Wasser und Land erscheint auch ihm von höchster Wichtigkeit. Ziemlich ähnlich verhält sich Satke, der [197] einen sehr instruktiven Artikel über die Ursachen der Eiszeit geschrieben hat; auch er betont [198], obwohl er im

übrigen der die Schwankungen der Exzentrizität der Erdbahn stark betonenden Hypothese von Murphy [199] vielen Wert beilegt, dass ohne Lageänderung der grossen Kondensatoren des atmosphärischen Wasserdampfes jene Oszillationen nie eine Eiszeit auszulösen im stande seien.

Wir glauben dafür halten zu müssen, dass wir mit dem Studium der terrestrischen Faktoren zwar einen guten Anfang gemacht haben, dass aber noch vieles zu geschehen hat, ehe die Wirksamkeit derselben ihrem vollen Umfange nach gewürdigt werden kann. Völlig den gleichen Geist atmet Sempers Schlusssatz [200]: „Als gesichertes Resultat unserer Darlegungen kann man betrachten, dass der Einfluss von Veränderungen in der horizontalen Konfiguration der Erdoberfläche auf das Klima ein viel grösserer ist, als bisher angenommen wurde, und dass ohne Berücksichtigung dieses Klimas eine zutreffende Lösung des paläothermalen Problemes nicht möglich ist." Auch in Davis' Untersuchungen [201] über die klimatologischen Folgen einer Polverlegung tritt der Umstand, dass Vergletscherung eines Teiles der Erdoberfläche wohl eine Ortsveränderung von Trockengebieten, nicht aber notwendig deren gänzliches Verschwinden nach sich ziehen müsste, deutlich hervor.

Die Eiszeit stellt sich uns sonach als ein regionales, keineswegs universales Ereignis dar, in erster Linie hervorgerufen durch einen auf neuer Gestaltung des Verhältnisses von Wasser und Land entstandenen enormen Ueberschuss an atmosphärischem Wasserdampfe, der sich zu Eis kondensieren musste, weil die Mitteltemperatur, wenn auch nicht sehr beträchtlich, herabgegangen war. Für diesen letzteren Akt mögen kosmische Veränderungen sekundär massgebend gewesen sein; jedoch kaum in dem Umfange, wie er sich aus Schwankungen der Elliptizität der Erdbahn oder der Ekliptikschiefe ergeben würde. Es ist vielmehr gar nicht unmöglich, dass die Gegensätze von Glazial- und Interglazialperioden einfach Steigerungen der durch die 35jährige Periode der Klimaschwankungen (§. 4) signalisierten Gegensätze sind und nur graduell, nicht aber ihrem inneren Wesen nach von diesen abweichen.

Weitere tellurische Forschungen, wie wir sie über das Austrocknen asiatischer Seen erhielten [202], wie sie von E. Richter [203], Brückner [204], Michelier [205] über die Oszillationen der Alpen- und Pyrenäengletscher angestellt wurden, versprechen uns für die Einsicht in den vermuteten Zusammenhang, den auch Supans Klassifikation der Klimaschwankungen schon andeutet [206], stets sich mehrenden Gewinn. Dabei wird allerdings auch, wie Whitney es fordert [207], dem Eingreifen des Menschen besondere Rücksicht zu tragen sein, um Täuschungen hintanzuhalten.

[1] Günther, Die Lehre von den Klimaschwankungen bei den Forschern des XVIII. und des beginnenden XIX. Jahrhunderts, A., LXIII, S. 625 ff., 641 ff. — [2] Brückner, Besprechung hiezu, M. Z., VII, S. 96. — [3] Polluge, Klimaveränderungen in historischen Zeiten, Berlin 1880. — [4] v. Cerny, Die Veränderlichkeit des Klimas und ihr Ursachen, Wien-Pest-Leipzig 1881. — [5] Brückner, Klimaschwankungen seit 1700, nebst Bemerkungen über die Klimaschwankungen der Diluvialzeit, Wien-Olmütz 1890, S. 10 ff. — [6] Wargentin, Anmerkungen vom Unterschiede des Klima, A. S. A., K., XIX, S. 169. — [7] Denso, Von der durch Menschen gemachten Witterungsänderung eines Ortes, Fortgesetzte Beiträge zur Naturkunde, 8. Stück, Berlin 1765. — [8] Barrington, An Investigation of the Difference between the present Temperature of the Air in Italy and some other Countries, and what it was seventeen Centuries ago, P. T., 1768, S. 58 ff. — [9] Nissen, Italische Landeskunde, I, Berlin 1886, S. 393 ff. — [10] v. Moltke, Wanderbuch, Berlin 1879, S. 72 ff.; Günther, Moltkes geographische Leistungen, A., LXV, S. 54. — [11] Williamson, An Attempt to Account for the Change of Climate, which has been observed in the Middle-Countries in North-America, T. A. P. S., I, S. 336 ff. — [12] Rappold, Brevis expositio causarum praecipuarum, a quibus successiva climatum mutatio pendet, Stuttgart 1794. — [13] W. Hamilton, Memoir on the Climate of Ireland, T. R. J. A., VI, S. 27 ff. — [14] Gronau, Ueber die Veränderungen des Klimas in verschiedenen Gegenden, N. S. G. N. F. B., XIV, S. 29 ff. — [15] Barrow-Gilbert, Physikalisch-geographische Nachrichten aus dem Nördlichen Polarmeere, G. A. P., LXII, S. 162 ff. — [16] Vargas Bedemar, Reise nach dem hohen Norden durch Schweden, Norwegen und Lappland, I, Frankfurt a. M. 1819, S. 44 ff., 165 ff., 186. — [17] Chladni, Wahrscheinlichste Erklärungsart des vormals wärmeren Klimas von Gegenden,

die jetzt kälter sind, S. J., XXXIV, S. 93 ff. — [18] v. Nau, Ueber die Veränderung der wärmeren Klima im Norden unserer Erde, München 1821. — [19] Arago, Sur l'état thermométrique du globe, Oeuvres complètes, VIII, Paris 1858, S. 243 ff. — [20] Brocard, Essai sur la météorologie de Kepler, II, Grenoble 1880, S. 11. — [21] Whitney, Climatic Changes of later Geological Times, Cambridge (U. S.) 1882. — [22] v. Czerny, a. a. O., S. 5. — [23] A. Kirchhoff, Besprechung hiezu, Lp., 1881, S. 175 ff. — [24] Blavier, Changement du climat sur les côtes de la Vendée et déplacement probable du Gulf-Stream, L. A., 1883, S. 106 ff. — [25] Lespiault, Marche des orages traversant le bassin de la Garonne, M. B., 1880, S. XIII ff., XXX ff. — [26] Ed. Biot, Recherches sur la température ancienne de la Chine, Paris 1851. — [27] Ideler, Ueber die angeblichen Veränderungen des Klimas, N. J. M. G. P., 1893, S. 149 ff. — [28] Brückner, a. a. O., S. 32. — [29] K. G. Zimmermann, Zur Bestätigung des von K. Fritsch gelieferten Nachweises einer säkulären Aenderung der Lufttemperatur, A. P. C., XCIII, S. 314 ff. — [30] Schouw, Skildring of Vejrligets Tilstand i Danmark, Kopenhagen 1826; Ideler, a. a. O., S. 428 ff. — [31] Ch. Martins, Le climat de la France a-t-il changé? A. M. F., 1850, S. 121 ff.; Ideler, S. 449. — [32] Kasthofer, Bemerkungen auf einer Alpenreise über den Susten, nebst Betrachtungen über die Veränderungen des Klimas des bernischen Hochgebirges, Aarau 1822. — [33] v. Tschudi, Das Tierleben der Alpenwelt, Leipzig 1859, S. 305. — [34] Venetz, Mémoire sur la variation de la température dans les Alpes, D. A. S. G., I, 2, 1833. — [35] C. Schmidt, Das Wetter im Hochgebirge einst und jetzt, B. A. Z., 1896, Nr. 84. — [36] Berlepsch, Die Alpen in Natur- und Lebensbildern, Jena 1885, S. 87 ff. — [37] Brückner, S. 30. — [38] Ideler, S. 420 ff. — [39] C. Neumann-Partsch, Physikalische Geographie von Griechenland, mit besonderer Rücksicht auf das Altertum, Breslau 1885, S. 67. — [40] Prowe, Nicolaus Coppernicus, I, 1, Berlin 1883, S. 105. — [41] Zschokke, Bayerische Geschichten, II, Aarau 1821, S. 85. — [42] Wulzinger, Historisch-topographisch-statistische Beschreibung des Bezirksamtes Eggenfelden und der umschliessenden Gegend, Regensburg 1878, S. 23. — [43] Polluge, a. a. O., S. 10. — [44] G. Freytag, Bilder aus der deutschen Vergangenheit, II, 1, Leipzig 1867, S. 138. — [45] Schöttl, Wein und Bier; kulturgeschichtliche Betrachtungen zu einem Gesetze Kaiser Maximilians I., B. b. R., II, S. 108 ff. — [46] Nordhoff, Der vormalige Weinbau Norddeutschlands, Münster i. W. 1877. — [47] De Candolle, Géographie botanique raisonnée, Paris 1855, S. 357. — [48] Trientl, An der Holzgrenze, M. d. ö. A., VI, S. 208 ff. — [49] L. Dufour, Notes sur le problème de la variation du climat, B. S. V., X, S. 359 ff. — [50] Ebenda, S. 387 ff. — [51] Ebenda, S. 383 ff. — [52] C. Neumann-Partsch, a. a. O., S. 89. — [53] C. Fraas, Klima und Pflanzenwelt in der Vorzeit, ein Beitrag zur Geschichte beider, Landshut 1847, S. 65 ff. — [54] C. Neumann-Partsch, S. 86 ff. — [55] Lacour, Tyge Brahes Meteorologiske Dagbog, holdt paa Uraniborg for Aarene 1582—1597, Kopenhagen 1876. — [56] Draper, Ueber die Frage einer Aenderung des Klimas der östlichen Staaten von Nordamerika, Z. ö. G. M., IX, S. 329 ff. — [57] Brückner, S. 26 ff. — [58] Heiderich, Klimaänderungen, St. W., VII, S. 129 ff. — [59] Heintz. Ueber Niederschlagsschwankungen im europäischen Russland, R. M., XIII, Nr. 2. — [60] Th. Fischer, Studien über das Klima der Mittelmeerländer, P. G. M., E. H. Nr. 58, S. 40 ff. — [61] Ueber Klimaänderungen an der Aequatorialgrenze des subtropischen Regengebietes, A., L, S. 891 ff.; Polluge, S. 27. — [62] Ebenda, S. 33 ff. — [63] v. Lendenfeld, Der Einfluss der Entwaldung auf das Klima Australiens, P. G. M., XXXIV, S. 41 ff. — [64] Brückner, S. 25 ff. — [65] Partsch, Ueber den Nachweis einer Klimaänderung der Mittelmeerländer in geschichtlicher Zeit, V. d. G., 1889, S. 116 ff. — [66] Volney, Voyage en Syrie et en Egypte, Paris 1787. — [67] Partsch, a. a. O., S. 123. — [68] Ebenda, S. XV. — [69] R. Wolf, Notizen zur Kulturgeschichte der Schweiz, Nr. 131. — [70] Buchan, Climate of Scotland, At., 1876, S. 329. — [71] Celoria, Variazioni periodiche e non periodiche delle temperature nel clima di Milano, R. J. L., (2) VII, S. 312 ff. — [72] A. W. Dove, Nichtperiodische Veränderungen der Wärme auf der Erdoberfläche, A. A. B., P. K., 1838, 1839, 1842, 1845, 1852. — [73] Rizzo, Il clima di Torino, Turin 1893. — [74] Brückner, Die Schwankungen des Wasserstandes im Kaspischen Meer, im Schwarzen Meer und in der Ostsee, A. H. m. M., XVII, S. 55 ff. — [75] Swarowsky, Die Schwankungen des Neusiedler-Sees, B. V. G. W., XII, S. 15 ff. — [76] Brückner, Inwieweit ist das heutige Klima konstant? V. d. G., 1889, S. 101 ff. — [77] Wisotzki, Die Strömungen in den Meeresstrassen, ein Beitrag zur Geschichte der Erdkunde, A., LXV, S. 502 ff. — [78] W. Gilbert, History of Lake Bonneville, Washington 1882. — [79] H. C. Russell, Notes upon Floods in Lake George, Sydney 1887. — [80] Brückner, Klimaschwankungen etc., S. 117. — [81] Ebenda, S. 121. — [82] Ed. Richter, Ueber Beobachtungen an den gegenwärtigen Gletschern, V. d. G., 1884, S. 87. — [83] C. Lang, Der säkuläre Verlauf der Witterung als Ursache der Gletscherschwankungen in den Alpen, Z. ö. G. M., XX, S. 443 ff.; Eine klimatologische Studie über die Eiszeit, W., II, Nr. 11. — [84] Günther, Gletscherschwankungen und Eiszeit, N. R., I, S. 93 ff. — [85] A. Heim, Handbuch der Gletscherkunde, Stuttgart 1885, S. 495 ff. — [86] Forel, Variations périodiques des glaciers, A. s. p. n., (3) VI, S. 22 ff., 451 ff. — [87] Kremser, Besprechung zu Brückner, M. Z., VIII, S. 220 ff.; Woeikow, Die Fragen über mehrjährige oder säkuläre Perioden der Witterung, ebenda, IX, S. 195; Supan, Grundzüge der physischen Erdkunde, Leipzig 1896, S. 175 ff.; Hann, Handbuch der Klimatologie, I, Stuttgart 1897, S. 397 ff. — [88] Kämtz, Ueber den Wasserstand des Kaspischen Meeres im Laufe des Jahres, K. R. M., III, S. 178 ff. — [89] Filipow, Ueber die Schwankungen des Wasserstandes im Kaspischen Meer (russisch), M. Sb., 1880, Nr. 7, 8. — [90] Sieger, Die Schwankungen der hocharmenischen Seen seit 1880 in Vergleichung mit einigen verwandten Erscheinungen, M. G. G. W., 1888, S. 80 ff. — [91] Sieger, Schwankungen der innerafrikanischen Seen, B. V. G. W., XIII, S. 41 ff. — [92] Sieger, Neue Beiträge zur Statistik der Seespiegelschwankungen, ebenda. XIV, S. 1 ff. — [93] Brückner. Klimaschwankungen etc., S. 101 ff. — [94] Ebenda, S. 113. — [95] Ebenda, S. 131. — [96] Ebenda, S. 171 ff., 180 ff. — [97] Sieger, Niederschlagsverhältnisse am ehemaligen Fuciner-See, M. Z., V, S. 315 ff. — [98] Brisse-De Rotrou, Dessèchement du lac Fucino, Rom 1876. — [99] Hann, Die Verteilung des Luftdruckes über Mittel- und Südeuropa, Wien 1887, S. 48 ff. — [100] Brückner, a. a. O., S. 217. — [101] Ebenda, S. 237. — [102] Woeikow, Gefrieren des Hudson-Flusses in Albany, Vereinigte Staaten, M. Z., VIII, S. 333 ff., 428. — [103] Woeikow, Klimaschwankungen, resp. mehrjährige Perioden der Witterung und ihre Erforschung, M. Z., IX, S. 227 ff. — [104] H. Fritz, Die Perioden der Weinerträge, L. J. T., X, S. 671 ff. — [105] H. Fritz, Die wichtigsten periodischen Erscheinungen der Meteorologie und Kosmologie, Leipzig 1889, S. 412 ff. — [106] Angot, Etude sur les vendanges en France, A. B. M. F., I, B., 1883, S. 83 ff. — [107] Brückner, S. 267. — [108] Ebenda, S. 287. — [109] Hann, Thatsachen und Bemerkungen über einige schädliche Folgen der Zerstörung des natürlichen Pflanzenkleides der Erdoberfläche, Z. ö. G. M., IV, S. 18. — [110] Brückner, S. 272. — [111] Supan, a. a. O., S. 185 ff. — [112] Woeikow, Klimatologische Zeit- und Streitfragen, IV, M. Z., VIII, S. 234 ff. — [113] Runeberg, Bemerkungen wegen einiger Veränderungen der Erdfläche überhaupt und besonders im kalten Landstriche, A. s. A. W. K., XXVII, S. 109 ff. — [114] Blytt, Theorien om vexlende kontinentale og insuläre klimat anvendt pa Norges Stigning, V. S. F. C., 1881, S. 33 ff.; Ueber die wahrscheinliche Ursache der periodischen Veränderungen in der Stärke der Meeresströmungen, B. C., IV,

Nr. 2; Essay on the Immigration of the Norwegian Flora during alternating Rainy and Dry Periods, Christiania 1876. — [115] Blytt, Zwei Kalktuffbildungen in Gudbrandsdalen, E. b. J., 1892, Beiblatt 36. — [116] Blytt, Ueber etc., S. 42. — [117] C. König, Untersuchungen zur Theorie der wechselnden kontinentalen und insularen Klimate, K., VII, S. 283 ff., 337 ff., 418 ff., 481 ff., 574 ff.; Moor und Torf, K., (2) I, S. 363 ff.; Blytt, Bemerkungen hiezu, S. 254 ff.; König, Entgegnung, S. 444 ff. — [118] Jentzsch, Ueber die Moore der Provinz Preussen, S. p. ö. G. K., XIX, S. 91 ff. — [119] Brückner, S. 241. — [120] W. Herrschel, Observations tending to investigatethe Nature of the Sun, in Order to find the causes of Symptomes of its variable Emission of Light and Heat, P. T., 1801, I, S. 313 ff. — [121] Brückner, Der Einfluss der Klimaschwankungen auf die Ernteerträge, G. Z., I, S. 39 ff. — [122] Erk, Klimaschwankungen und Sonnenflecke, V. 66. N. V., II, 1, S. 36 ff. — [123] Woeikow, Klimatologische Zeit- und Streitfragen, V, M. Z., XI, S. 1 ff. — [124] Wallace, Island Life, London 1882. — [125] Oppenheim, Die Kontinente und ihre geologische Geschichte, B. A. Z., 1896, Nr. 54. — [126] A. T. Brongniart, Histoire des végétaux fossiles, ou recherches botaniques et géologiques sur les végétaux renfermés dans les diverses couches du globe, Paris 1828—37. — [127] Svante Arrhenius, On the Influence of Carbonic Acid in the Air upon the Temperature of the Ground, P. M., (5) II, S. 237 ff.; Bedeutung des Kohlensäuregehaltes der Luft für die Temperatur der Erdoberfläche, M. Z., XIII, S. 258 ff. — [128] Paschen, Ueber die Emission erhitzter Gase, A. P. C., (2) L, S. 409 ff.; Ueber die Emission der Gase, ebenda, (2) LI, S. 2 ff., LII, S. 209 ff. — [129] Eug. Dubois, Die Klimate der geologischen Vergangenheit und ihre Beziehungen zur Entwickelungsgeschichte der Sonne, Nymwegen-Leipzig 1893; The Climates of the Geological Past and their Relations to the History of Development of the Sun, London 1895. — [130] Woeikow, Geologische Klimate, P. G. M., XLI, S. 252 ff. — [131] Ebenda, S. 255. — [132] Franckland, Ueber die physische Ursache der Eiszeit, A. P. C., CXXIII, S. 423. — [133] De Marchi, Le cause dell' era glaciale, Pavia 1895. — [134] v. Rhode, Jahreszeiten von höherer Ordnung oder über einen Gegenstand der physischen Geographie, Königsberg i. Pr. 1809. — [135] Günther, Die Lehre etc., S. 644. — [136] Ankel, Die Eiszeit, A., LXIII, S. 477. — [137] Adhémar, Les révolutions de la mer, Déluges périodiques, Paris 1842; 2. Aufl., ebenda 1875. — [138] Julien, Courants et révolutions de l'atmosphère et de la mer comprenant une théorie nouvelle sur les déluges périodiques, Paris 1860. — [139] Le Hon, Périodicité des déluges, Brüssel 1868. — [140] Julien, S. 181 ff. — [141] Günther, Studien zur Geschichte der mathematischen und physikalischen Geographie, Halle a. d. S. 1879, S. 129 ff. — [142] Bruchhausen, Die periodisch wiederkehrenden Eiszeiten und Sintfluten, Trier 1845. — [143] Pilar, Ein Beitrag zur Frage über die Ursachen der Eiszeit, Agram 1876, S. 43 ff.; 67 ff. — [144] Schmick, Die Umsetzungen der Meere und die Eiszeiten der Halbkugeln der Erde, ihre Ursachen und Perioden, Köln 1869; Thatsachen und Beobachtungen zur weiteren Begründung dieser Theorie, Görlitz 1871; Die neue Theorie periodischer säkulärer Schwankungen des Seespiegels und gleichzeitiger Verschiebungen der Wärmezonen auf der Nord- und Südhalbkugel, Münster i. W. 1872; Das Flutphänomen und sein Zusammenhang mit den säkulären Schwankungen des Seespiegels, Leipzig 1874; Die Aralo-Kaspi-Niederung und ihre Befunde im Lichte der Lehre von den säkulären Schwankungen des Seespiegels und der Wärmezonen, Leipzig 1874; Das Flutphänomen, Leipzig 1876; Sonne und Mond als Bildner der Erdschale, Leipzig 1878; Der Planet Mars eine zweite Erde, nach Schiaparelli, Leipzig 1879. — [145] v Schilling, Einiges über die Schmicksche Theorie periodisch-säkulärer Schwankungen auf der Nord- und Südhalbkugel der Erde, Z. G. E. B., X, S. 437 ff. — [146] Zöppritz, Besprechung zu Schmicks Schriften, G. G. A., 1878, S. 868 ff. — [147] Pilar, a. a. O., S. 29 ff. — [148] Oberst Tillos Nivellement zwischen dem Aral-See und dem Kaspischen Meer, Z. G. E. B., II, S. 84 ff. — [149] Croll, On the physical Cause of the Change of Climate during geological Epochs, P. M., 1884, S. 380 ff.; Climate and Time in their geological Relations, a Theory of Secular Changes of the Earth's Climate, London 1875, Discussions on Climate and Cosmology, London 1889. — [150] Geikie, The Great Ice Age and its Relation to the Antiquity of Man, London 1874; 3. Aufl., ebenda 1894. — [151] Brückner, Die Eiszeit, P. G. M., XLI, S. 4 ff. — [152] Wyville Thomson, On the Conditions of the Antarctic, N., XV, S. 104 ff. — [153] J. Ball, Notes of a Naturalist in South-America, London 1887, S. 393 ff. — [154] Woeikow, Examination of Dr. Croll's Hypothesis on Geological Climates, P. M., (5) XXI, S. 223 ff. — [155] Hann, Handbuch etc., I, S. 379. — [156] Newcomb, Rewiew of Croll's Climate and Time, A. J. S., (3) XI, S. 263 ff. — [157] North Rice, The Excentricity Theory of the Glacial Period, Sc., VIII, S. 188 ff., 347 ff. — [158] Fisher, Climatic Effects on the present Excentricity, N., XX, S. 577 ff. — [159] R. Ball, Astronomical Theory of the glacial Period, the Cause of an Ice Age, London 1891. — [160] K. Haas, Ueber einen Apparat zur Demonstration der Ballschen Eiszeittheorie, T. 66. N. V., II, 1, S. 212 ff. — [161] Culverwell, A Mode of Calculating a Limit to the direct Effect of great Excentricity of the Earth's Orbit on terrestrial Temperatures, showing the Inadequacy of the astronomical Theory of Ice Age and genial Ages, P. M., (5) XXXVIII, S. 541 ff. — [162] C. Wiener, Ueber die Stärke der Bestrahlung der Erde durch die Sonne in ihren verschiedenen Breiten und Jahreszeiten, Z. M. P., XXII, S. 364 ff. — [163] G. H. Darwin, The astronomical Theory of the Glacial Period, N., XLV, S. 289 ff. — [164] Neumayr-Uhlig, Erdgeschichte, I, Leipzig-Wien 1895, S. 407. — [165] Ebenda, II, S. 157 ff. — [166] Potonié, Die Wechselzonenbildung der Sigillariaceen, J. p. G. L., 1893, S. 24 ff. — [167] Faye, Sur l'origine du monde, Paris 1896, S. 293 ff. — [168] M. Semper, Einige Bemerkungen zu Fayes Hypothese über die Entstehung des Sonnensystemes, Z d. g. G., XLVIII, S. 683 ff. — [169] Haughton, Preliminary Formulae relating to the Internal Change of Position of the Earth's Axis arising from Elevations and Depressions caused by geological Changes, P. R. S., 1878, S 51 ff. — [170] Neumayr-Uhlig, II, S. 474. — [171] v. Schleinitz, Ueber die von der internationalen Meteorologenkonferenz in Hamburg, Oktober 1879, geplante Polarforschung, V. G. E. B., VII, S. 203 ff. — [172] De Saporta, Aperçu sur la flore de l'époque quaternaire, Paris 1867; Caractères de l'ancienne végétation polaire, Paris 1868; Le monde des plantes avant l'apparition de l'homme, Paris 1879; deutsch von C. Vogt, Braunschweig 1881. — [173] Howorth-Ehemann, Das Mammut und die Flut, London 1893. — [174] Canu, Essai de paléogéographie, Paris 1895. — [175] M. Semper, Das paläothermale Problem, speziell die klimatischen Verhältnisse des Eozäns in Europa und im Polargebiete, Berlin-München 1896. — [176] Neumayr, Ueber klimatische Zonen während der Jura- und Kreideperiode, D. A. W., M. N., XLVII, S. 276 ff. — [177] Heer, Beiträge zur Kreideflora, Zürich 1869—72; Untersuchungen über das Klima und die Vegetationsverhältnisse des Tertiärlandes, Winterthur 1860; Die Urwelt der Schweiz, Zürich 1879. — [178] Penck, Studien über das Klima Spaniens während der jüngeren Tertiärperiode und der Diluvialperiode, Z. G. E. B., XXIX, S. 109 ff. — [179] Neumayr-Uhlig, II, S. 263. — [180] M. Semper, a. a. O., S. 46. — [181] Heer, Die Urwelt etc., S. 606 ff. — [182] Ebenda, S. 537 ff. — [183] Krašan, Inwieweit ist man im stande, durch die Kenntnis der Pflanzenversteinerungen das Klima von Steiermark in den vorgeschichtlichen Zeiten zu bestimmen? M. N. V. St., 1890, S. 234 ff. — [184] Sartorius v. Waltershausen, Untersuchungen über das Klima der Gegenwart und Vorwelt,

mit besonderer Berücksichtigung der Gletschererscheinungen in der Diluvialzeit, Haarlem 1865. — [185] Hann, I, S. 367. — [186] Sartorius v. Waltershausen, a. a. O., S. 146 ff. — [187] Probst, Klima und Gestaltung der Erdoberfläche, in ihren Wechselwirkungen dargestellt, Stuttgart 1887. — [188] Brückner, Besprechung hiezu, M. Z., V, S. [61] ff. — [189] Woeikow, Ueber die klimatologischen Verhältnisse der Eiszeiten sonst und jetzt, V. G. E. B., VII, S. 151 ff. — [190] F. Kerner v. Marilaun, Eine paläoklimatologische Studie, Wien 1895. — [191] Frankland, a. a. O., S. 428. — [192] Lyell, Principles of Geology, I, London 1872, S. 268 ff. — [193] Pilar, a. a. O., S. 13 ff. — [194] Brückner, S. 308. — [195] Penck, Schwankungen des Meeresspiegels, München 1882, S. 32 ff. — [196] Penck, Die Vergletscherung der deutschen Alpen, ihre Ursache, periodische Wiederkehr und ihr Einfluss auf die Bodengestaltung, Leipzig 1882, S. 433 ff. — [197] Satke, Ueber die Ursachen der Eiszeit, H., IX, S. 1 ff., 41 ff. — [198] Ebenda, S. 45. — [199] Murphy, The Glacial Climate and the Polar Ice Cap, Q. J. G. S., XXXII, S. 400 ff. — [200] Semper, a. a. O., S. 60. — [201] W. M. Davis, Topographical Records on Changing Climates, A. M. J., XII, S. 372 ff. — [202] C. Hahn, Einige Bemerkungen über kaukasische Gletscher und Seen, A., LXV, S. 281 ff.; Geography in Kaukasus, N., XLIX, S. 515; Drying up of Siberian Lakes, N., XXXIV, S. 329 ff. — [203] Ed. Richter, Geschichte der Schwankungen der Alpengletscher, Z. d. ö. A., XXII, S. 1 ff. — [204] Brückner, E. Richters Untersuchungen über die Schwankungen der Alpengletscher, M. Z., VIII, S. 229 ff. — [205] Michelier, Etude sur les variations des glaciers des Pyrenées, A. B. M. F., I, B, 1888, S. 35 ff. — [206] Supan, a. a. O., S. 185 ff. — [207] Whitney, Brief Discussion of the Question whether Changes of Climate can be brought about by the Agency of Man, Boston 1894.

Kapitel X.

Praktische Meteorologie.

§. 1. Wesen und Einteilung der angewandten Meteorologie. Die atmosphärische Physik, soweit sie bisher behandelt wurde, trug einen rein theoretischen Charakter, und nur ganz gelegentlich ward daran erinnert, dass diese Lehren auch dem Menschen in den allerverschiedensten Beziehungen nützlich werden können. Die Anwendungen sollen hier im Zusammenhange zum Gegenstande der Besprechung gemacht werden. Wir unterscheiden die Wetterprognose schlechthin von der maritimen Meteorologie, der litoralen Meteorologie und der Agrarmeteorologie; Zweck und Natur jedes einzelnen Zweiges wird schon durch den Namen gekennzeichnet. Doch sind einige Worte über die nähere Begriffsbestimmung schwerlich überflüssig.

Die Disziplin der Witterungsprognose (πρόγνωσις, Voraussage) wendet sich an die Menschheit als Ganzes. Etwas spezieller ist die Aufgabe der maritimen Meteorologie, deren Notwendigkeit schon lange gefühlt ward, ehe der Amerikaner Maury [1] den Anstoss zu ihrer systematischen Begründung gab; ihre Aufgabe geht dahin, die meteorologischen Verhältnisse der einzelnen Seewege so genau zu erforschen, dass der Schiffer mit einem Mindestaufwande von Zeit, Mühe und Risiko von einem Küstenpunkte zum anderen gelangen kann. Die Stürme wollen dabei natürlich auch berücksichtigt sein, allein da sie für den auf hoher See befindlichen Seemann wenig Schrecken haben, um so mehr aber für das nicht mehr rechtzeitig in den Hafen sich rettende Schiff, so ist auch die Notwendigkeit einer selbstständigen Küstenmeteorologie gegeben, welche vor allem das Sturmwarnungswesen zu pflegen hat. Endlich hat auch der Landmann ein Interesse daran, von gewissen Veränderungen der Witterung rechtzeitig in Kenntnis gesetzt zu werden, und es ist Sache der ökonomischen Meteorologie, den Landwirten diesen Dienst zu erweisen.

§. 2. Hilfsmittel der Wetterprognose im allgemeinen. Eine einigermassen exakte Wettervorhersage ist erst durch das Buys Ballotsche Gesetz (S. 191) ermöglicht worden. Was in dieser Hinsicht früher versucht wurde, fiel nur zum geringeren Teile in das Gebiet der ernsten Wissenschaft, und auch noch in späterer Zeit machte geschickte Reklame den bescheidenen Leistungen der Fachleute nur allzu oft schlimme Kon-

kurrenz. Doch soll nicht geleugnet werden, dass mancher Hinweis, der neben der Prognose im engeren Sinne hie und da hervortrat, als ein subsidiäres Mittel, den Charakter der bevorstehenden Witterung vorauszubestimmen, sich ganz erfolgreich bethätigen kann.

Solange die Witterungskunde reine Astrometeorologie war, also bis gegen Ende des XVIII. Jahrhunderts (S. 2), schien die Prognose leicht zu sein, denn die Konstellationen am Himmel liessen sich schon damals mit grosser Genauigkeit vorausberechnen, und da man zu wissen glaubte, welche Wetterlage mit einer gegebenen Stellung der Gestirne korrespondierte, so war an und für sich das Problem von vornherein gelöst. Hier können wir uns um so kürzer fassen, da die Bestrebungen, die Meteorologie nur zu einem Bestandteile der Astronomie zu stempeln, in Kap. V bereits einer übersichtlichen Darstellung teilhaftig geworden sind. Die Namen Overzier, Falb, Mathieu de la Drôme, Jäger u. a. genüge es nochmals zu nennen. Wir haben die Ueberzeugung gewonnen, dass der Lauf der Himmelskörper zwar nicht ohne alle Einwirkung auf die Lufthülle der Erde bleibt, dass aber die fraglichen Kräfte numerisch ganz unbedeutend sind gegenüber denjenigen, deren Walten die Witterung der nächsten Zukunft in erster Linie bedingt.

Wenn also die älteren „Wetterpraktiken" in ihrem vergeblichen Bemühen, die Korrektheit des astronomischen Kalenders zu erreichen, mit gutem Rechte den ganzen Spott des grossen Satyrikers Fischart herausforderten [2], so war auch mit der Aufsuchung von Wetterregeln aus dem Leben der Organismen kein sonderlicher Erfolg zu erreichen. Die einen wandten sich an das Pflanzenreich, um brauchbare Kennzeichen zu erhalten, so wie dies Kortholt [3], Wehrs [4] und Zeidler [5] thaten, und es kann ja auch nicht bestritten werden, dass sensible Gewächse auf gewisse Veränderungen des Wetters vorher schon reagieren. Die Phänologie (Kap. VII, §. 5) hat uns über die intimen Beziehungen zwischen Pflanzenwelt und Klima belehrt, aber freilich sind dieselben nicht dazu angethan, allgemein brauchbare prognostische Kriterien an die Hand zu geben, so wenig geleugnet werden soll, dass derjenige, der in langjährigem Umgange mit der belebten Natur Erfahrungen zu sammeln Gelegenheit hatte, manche Einsicht gewinnt, die nur eben nicht gut in allgemeinen Regeln ausgedrückt werden kann.

Als Wettertiere galten von altersher zumal die Spinnen, welche für die „Araneologie" des Scultetus [6] als Objekt dienten. Viel Aufsehen erregte gegen Ende des XVIII. Jahrhunderts die angebliche Entdeckung eines französischen Offiziers Quatremere-Disjonval, der durch seine Spinnenbeobachtungen den Erfolg Pichegrus in dessen niederländischem Feldzuge vorausgesagt haben wollte; der strenge Winter, den er angekündigt, sei wirklich eingetroffen, und das überschwemmte, aber in eine Eisfläche verwandelte Land sei leicht in Besitz zu nehmen gewesen. Die Bearbeitung [7], welche der deutsche Physiker Weber von Quatremeres Schrift gab, ist der Uebersetzung [8] noch vorzuziehen. Die Dimensionen der Fäden sollen das eigentlich massgebende Moment sein, indem regnerisches Wetter durch schwaches, gutes durch starkes Gespinnst angezeigt werden soll, so dass die Spinne geradezu als „Wettertelegraph" Dienste leiste [9]. Etwas anders legt sich die Sache der mit diesen Dingen sehr vertraute Ellner zurecht [10]: Gibt es viele Hängespinnen, so folgt schönes Wetter, während die Abwesenheit ersterer eine ungünstige Prognose andeutet. Zumal der sogenannte „Alteweibersommer" („Sommergarn") würde, wenn es sich so verhielte, eine höhere Bedeutung gewinnen, wie sie ihm auch in einer Dissertation von Madeweis [11] zugesprochen wird. Man kann ja nicht zweifeln, dass im physischen Leben eines so empfindlichen Tieres, wie es die Arachniden sind, Schwankungen der Luftwärme und Luftfeuchtigkeit eine gewisse Rolle spielen; „die Spinnen," so drückt sich der Zoologe Voigt aus [12], „sind gegen das Wetter sehr empfindlich, weil sie viel Feuchtigkeit aus der Luft einsaugen". Allein von dieser Erkenntnis ist noch ein weiter Weg bis zur Wetterprognose. — Nicht anders steht es mit der Vorausbestimmung durch Laubfrösche, Mücken, Vögel; wenn Schübler [13] aus der Zeit der Abwesenheit von Störchen und Schwalben auf die grössere oder geringere Strenge des nächstfolgenden Winters schliessen wollte, so lag seinen Bemühungen gewiss ein richtiger Gedanke zu Grunde, ebenso wie denjenigen von C. L. Brehm [14], der als Ornithologe ersten Ranges die Gewohnheiten der Vogelwelt gründlichst kannte. Hier wäre auch noch des niedrigen Fluges der Schwalben

unmittelbar vor einem Gewitter, des Auf- und Abwärtsweidens der Schafherden im Gebirge, des Erscheinens gewisser sonst verborgen lebender Tiere (Salamander u. s. w.) zu gedenken, indessen kann an diesem Orte eine gedrängte Uebersicht wohl genügen. Der Zooprognose mangelt sicherlich nicht ein Körnchen Wahrheit, allein irgendwelches systematische Verfahren lässt sich auf ein immerhin unsicheres Prinzip nicht begründen.

Auch anderweite, bloss der Beobachtung entnommene und nicht kausal zu begreifende Kennzeichen sind von geringem Werte, so z. B. der Höhenrauch, welchen Wiegmann [15] und Schön [16] als Vorboten grosser Winterkälte angesehen wissen wollten. Gewisse optisch-atmosphärische Indizien dürfen eine höhere, wenngleich immer nur sehr bedingte Bedeutung beanspruchen. Am wichtigsten dürfte jedoch lokale Wolkenbeobachtung sein; wer sich dieser eine Reihe von Jahren mit hingebendem Eifer gewidmet hat, gewinnt Anhaltspunkte, welche ihm aus gewissen Bewölkungsständen einen Schluss auf bevorstehenden Witterungsumschlag zu ziehen erlauben, aber freilich ist diese Errungenschaft immer einigermassen an die Scholle geheftet, und wer seinen Wohnort in eine Gegend von klimatisch verschiedenem Charakter verlegt, wird sein empirisches System auch wieder ganz von neuem aufbauen müssen.

Schon der Volksglaube bringt das Wasserziehen (Kap. III, §. 9) mit Regen in Verbindung und thut daran nach Kämtz [17] gar nicht unrecht, weil eben, wenn die Erscheinung sich zeigen soll, viel Wasser in der Atmosphäre vorhanden sein muss. Auch das Kyanometer (Kap. III, §. 8) kann, wie Clausius [18] glaubt, Unterschiede in der Luftfeuchtigkeit ziemlich exakt angeben. Das von Piazzi Smyth [19] bemerkte Regenband des Spektrums (Kap. III, §. 11) kann in Betracht kommen, und nicht minder darf man dem Sternglitzern (Kap. III, §. 4) einige Beachtung schenken, wiewohl niemand geneigt sein wird, solchen sekundären Momenten ein Gewicht beizumessen, welches der Natur der Sache nach ihnen nicht beigelegt werden kann. Nicht anders steht es mit der an sich unzweifelhaften Thatsache, dass zahlreiches Auftreten von Nebensonnen und Nebenmonden (Kap. III, §. 20) auf das Erfülltsein der Atmosphäre mit feinen Eisnadeln hinweist.

Dieser letzteren bedarf es auch (S. 32) zur Bildung von Cirruswolken, welche allenthalben, und nicht bloss für enger begrenzte Gebiete (s. o.), als ein Wettervorzeichen ersten Ranges betrachtet werden dürfen. Abercromby hebt [20] mit Nachdruck hervor: Schnell ziehende Cirren signalisieren, im Gegensatze zu langsam sich fortbewegenden, schlechtes Wetter. Gewiss bedeutet diese Feststellung einen Fortschritt, aber derselbe ist nicht, unbeschadet seiner sonstigen hohen Verdienste um die Wolkenforschung, Cl. Ley (S. 31), sondern H. J. Klein zu danken, der, gestützt auf etwa 15000 Einzelbeobachtungen, die erwähnte Regel Abercrombys erstmalig aussprach [21]. Diese Kleinsche Wetterregel kann zu den gesichertsten Thatsachen gerechnet werden und hat den Vorzug, von der augenblicklichen Druckverteilung innerhalb der Atmosphäre unabhängig zu sein.

Es muss unbedingt zugestanden werden, dass ein seiner Gegend kundiger und mit den allgemeinen Gesetzen der Witterungskunde vertrauter Beobachter, dem ein gutes Instrumentarium zur Verfügung steht, nützliche und selten versagende Kriterien der Wettervorhersage aufzufinden vermag. Die eben erwähnte Schrift Kleins wird einem solchen Beobachter zu höchst brauchbarem Handweiser dienen können. Damit soll jedoch nicht gesagt werden, dass die Lokalprognose die — im nächsten Paragraphen zu besprechende — allgemeine Prognose überflüssig machen könne und solle. Diese Ansicht teilen wir nicht, wie sich aus den nachstehenden Ausführungen ergeben wird.

§. 3. **Die synoptische Prognose.** Die Gesetze, nach welchen — zunächst allerdings in den unteren Regionen — die atmosphärischen Bewegungen vor sich gehen, sind in Kap. VI entwickelt worden. Gesetzt nun, man kennt für einen hinreichend grossen Raum die augenblicklichen Druck- und Temperaturverhältnisse, so kann man an der Hand des barischen Windgesetzes (S. 190) Richtung und Stärke der Winde ermitteln, und diese wieder sind es, welche den Gang der Witterung hauptsächlich bestimmen. Es käme also in erster Linie darauf an, allen jenen, welche Wettervorhersage exakt betreiben wollen, Uebersichtskarten der Isobaren und Isothermen zu verschaffen, in welchen etwa noch gewisse andere meteorologische Faktoren berücksichtigt sein können. Diesen Karten entnimmt der Kundige den Aufschluss über die Witterung der nächsten Zeit; jede derartige Prognose kann nur eine solche auf kurze Frist sein, und in der That beschränken sich unsere Institute einstweilen auch konsequent darauf, die allgemeine Wetterlage nur für den nächstfolgenden Tag zu kennzeichnen. Eine Uebersichtskarte der bezeichneten Art heisst eine synoptische (συνῶψις, zusammenfassender Ueberblick), und diese Benennung überträgt sich auch auf die Prognose selbst.

Einen ersten Ansatz zur Herstellung solcher Karten kann man vielleicht in einer Schrift [22] des Schlesiers Felbiger erkennen, welche einer genaueren Kenntnisnahme wohl würdig wäre. Auch die etwa hundert Bildchen mit symbolischen Witterungsdarstellungen, welche der ältere Boeckmann als Probe seiner „Meteorographia universalis“ hinterliess, und welche sehr viel später erst von Hertz [23] bekannt gemacht wurden, dürfen hier, als der Vorgeschichte einer rationellen Prognose angehörig, Erwähnung finden. Der Gedanke der synoptischen Wetterkarte ruhte bis zur Mitte des XIX. Jahrhunderts, und Buys Ballot war es, der zugleich mit dem Talismane, welcher die Entzifferung solcher Karten allein ermöglicht, diese selbst den Meteorologen in die Hände gab [24]. Bald machte die Idee Schule; über die Stadien ihrer Ausbreitung in den verschiedenen Ländern orientiert sehr gut der Aufsatz von Franceschini [25]. In Frankreich nahmen sich die Astronomen Leverrier und Chacornac der Sache an; in Dänemark organisierte Hoffmeyer den synoptischen Wetterdienst; die nordamerikanische Union hatte bis zum Jahre 1875 bereits eine Summe von mehr denn drei Millionen Mark hiefür aufgewendet, und die offiziellen „Weather-Probabilities“ des Generales Myer (davon „Old Prob“ genannt), erwarben sich rasch überall Anklang in den Vereinigten Staaten. Im grossen und ganzen war die Einrichtung des Dienstzweiges, der durch Cumbarys Mühewaltung sogar in der Türkei Eingang fand, allerorts die gleiche. Brocard hat [26] die Bestimmungen der einzelnen Kulturstaaten übersichtlich zusammengestellt.

Grundbedingung einer synoptischen Wetterkarte ist, wie angegeben, deren Erstreckung auf einen verhältnismässig grossen Teil der Erdoberfläche. Damit dies erreicht werden könne, bedarf es eines Doppelten: Zusammenschlusses vieler zu gemeinsamem Thun und ausgiebiger Anwendung des elektrischen Telegraphen. Des ersteren Punktes waren klar denkende Männer schon früher eingedenk gewesen, allein ohne die Möglichkeit, an einer Zentralstelle die einlaufenden Wetterdepeschen im Kartenbilde zu verarbeiten, konnte die Konzentration der meteorologischen Arbeit zwar wohl der Klimatologie, nicht jedoch der Prognose direkten Nutzen bringen.

Die erste Einladung an die Meteorologen, einen Bund zu gemeinschaftlicher und planmässiger Thätigkeit zu schliessen, ging im Jahre 1724 von Jurin [27] aus, war aber ebensowenig von Erfolg begleitet, wie der etwas ältere Versuch Sturms (I, S. 506), einen Mittelpunkt für die geomagnetischen Beobachtungen zu

schaffen. Die Mannheimer Gesellschaft (S. 3), deren Geschichte Traumüller [28] geschrieben hat, erwarb sich grosse Verdienste um unsere Gesellschaft, jedoch wesentlich auf einem anderen Felde, und des oben genannten Boeckmann [29] anerkennenswertes Streben kam ebenfalls noch zu früh. Der deutsche Arzt Wittmann war der erste Europäer, welcher dazu riet [30], die damals (1850) schon hoch entwickelte Telegraphie in den Dienst der Witterungsprognose zu stellen; in Amerika hatte man, wie wir von Ratzel [31] erfahren, eine Anregung hiezu schon 1847 gegeben, aber erst 1869 brachte die Handelskammer von Chicago es dahin, dass die Dinge wirklich in Fluss kamen, und dass unterm 9. Februar des nächsten Jahres eine besondere Kongressakte den Kriegsminister zum obersten Leiter des neuen Dienstzweiges ernannte. Jedenfalls kann von einer beträchtlichen und günstigen Rückwirkung der amerikanischen Verhältnisse auf diejenigen der Alten Welt gesprochen werden.

Einige Rücksicht auf die synoptische Prognose nehmen die allermeisten Lehrbücher unseres Faches; auch wird in einigen kleineren Schriften [32] eine besondere Anweisung zum meteorologischen Kartenlesen und zur Anstellung selbständiger prognostischer Versuche erteilt. Den höchst gespannten Ansprüchen des fachmännischen Lesers aber genügt van Bebbers Handbuch [33], dem dann später noch ein kürzeres, durchaus aus der Praxis herausgearbeitetes Lehrbuch [34] zur Seite trat, welchem wesentlich der nächstfolgende Paragraph entnommen ist. In kleinerem Rahmen geben Bruhns [35] und Krebs [36] alle wünschenswerten Aufschlüsse über die Pflichten derer, welche sich mit der ausübenden Wettervorhersage zu beschäftigen haben.

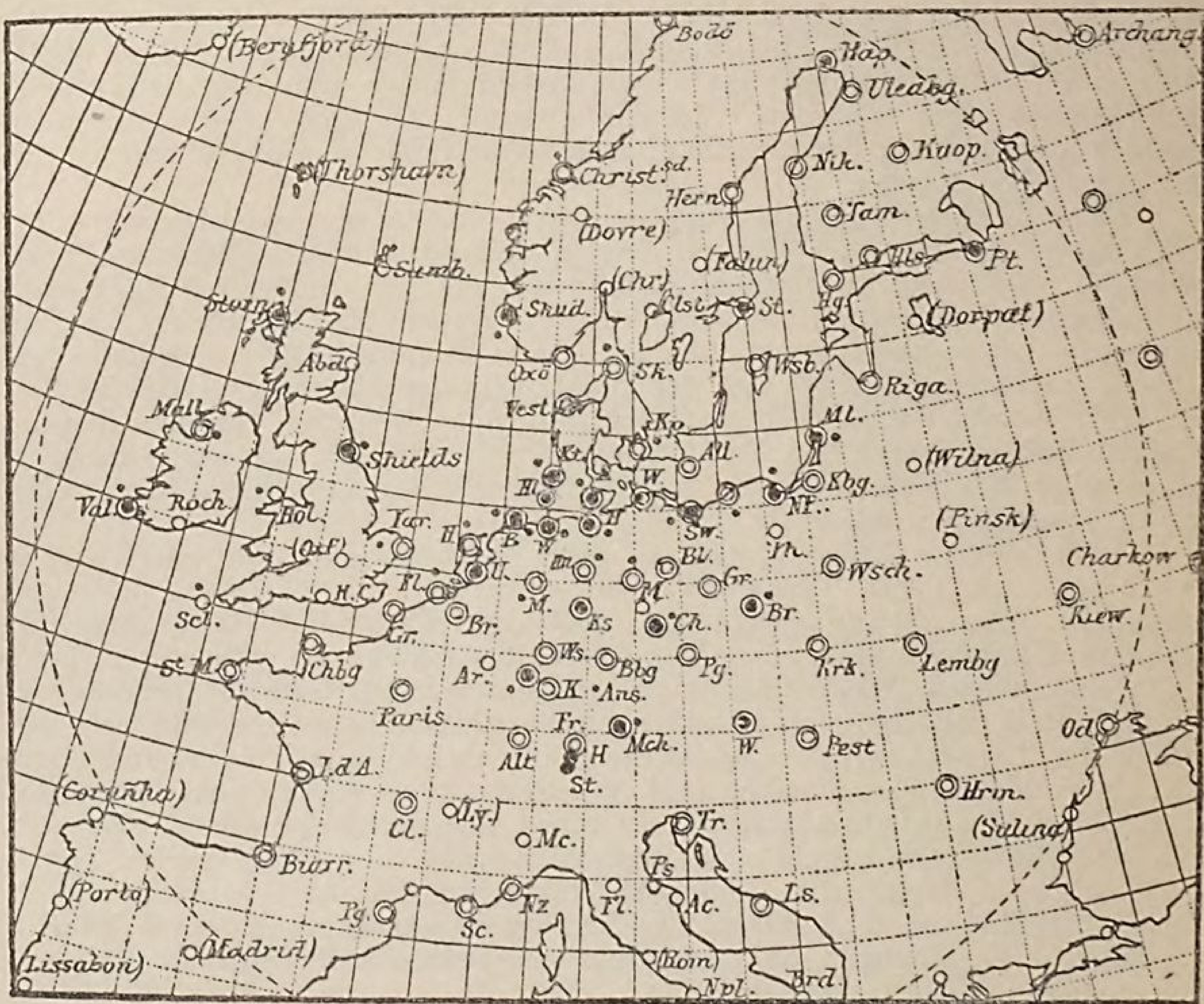
Auch kleinere Staaten besitzen jetzt meteorologische Zentralstationen, als deren Typus etwa die — mehrfach beschriebene [37] — dem praktischen Wetterdienste gewidmete dritte Abteilung der Deutschen Seewarte in Hamburg, unter van Bebbers Oberleitung, zu gelten hat. Die Geschäfte eines solchen Wetteramtes sind zwar anscheinend leicht zu schildern [38], aber im Detail gestalten sich dieselben oft überaus mühsam und schwierig. Was speziell die Einrichtung der Wettertelegraphie angeht, so sind darüber Tarrys vergleichende Angaben [39] von Nutzen. Auch grössere Tagesblätter richteten sich im Interesse ihrer Leser einen eigenen Wetterdienst ein; so vor allem der „New York Herald“, in Deutschland aber die „Frankfurter Zeitung“, die „Kölnische Zeitung“, die „Kölnische Volkszeitung“ u. a. Das zuerst von Assmann, späterhin von Grützmacher herausgegebene Jahrbuch der Wetterwarte der „Magdeburger Zeitung“ stellt eine sehr geachtete Veröffentlichung der periodischen meteorologischen Litteratur dar.

§. 4. **Konstruktion und Deutung der Wetterkarte.** Die vorstehenden Erörterungen über die synoptische Methode setzen uns in den Stand, an einem Beispiele die Geschäftsgebarung des meteorologischen Praktikers zu erläutern. Wir versetzen uns in die Lage eines Beamten der Zentralstation, dem früh morgens von allen Seiten her auf dem Drahtwege Material übermittelt wird, aus welchem ersehen werden kann, wie sich an den Orten, mit denen telegraphische Verbindung besteht, die Witterung in ihren einzelnen Erscheinungsformen gestaltet hat. Seine nächste Aufgabe ist, die verschiedenen Daten im einheitlichen Gesamtbilde zur Anschauung zu bringen.

Die Depeschenlieferung erfolgt nicht in allen Ländern gleich; man unterscheidet [40] ein kontinentales System, welches auch in Deutschland anerkannt wird und auf die Ortszeit sich gründet, ferner ein englisches System, welches die Inlandtelegramme gleich für Simultanzeit (von Greenwich) umgerechnet erfordert, und endlich ein amerikanisches (oder Circuit-) System, dessen Vorzug darin besteht, dass nicht allein der Zentralort Nachrichten empfängt, sondern dass ziemlich gleichzeitig eine ganze Anzahl grösserer, geeignet über das Land verteilter Städte auszugsweise mit den für die örtliche Prognose wichtigen Angaben bekannt gemacht wird. Schon $1^h\ 40^m$ nach Einlauf der Wetterdepeschen ist das „Signal Office“ in Washington die ersten Prognosenberichte auszugeben im stande. Telegraph, Telephon, Post und Eisenbahn sorgen dann weiter für rascheste Verbreitung. Die Deutsche Seewarte verfügt über ein mit zahlreichen

Stationen besetztes Bezugsgebiet, dessen Ausdehnung Fig. 68 uns vor Augen stellt. Jede Morgendepesche ist in Chiffresprache gehalten, um auf recht kleinem Raume möglichst viel Beobachtungsthatsachen vereinigen zu können. Anlässlich des Wiener Meteorologenkongresses (September 1873) sprach R. Scott den Wunsch nach einem allseitig anerkannten Chiffresysteme aus [41], und als dann O. E. Krause [42]

Fig. 68.



mit bestimmten Vorschlägen in dieser Richtung hervortrat, wurden die betreffenden Charaktere bald überall angenommen; zuerst, mit etlichen Abänderungen, im bayerischen Prognosendienste [43]. Die vom Kongresse adoptierten und dem aufmerksamen Zeitungsleser längst vertraut gewordenen Symbole sind nachstehend zusammengestellt:

Regen	●	Reif	⊥⊥	Sonnenring	⊕
Schnee	✻	Tau	⦵	Sonnenhof	⦶
Gewitter	⌈<	Rauhfrost	V	Mondring	⩛
Wetterleuchten	<	Glatteis	∾	Mondhof	⩛
Hagel	▲	Schneegestöber	┼→	Regenbogen	⌒
Graupeln	△	Eisnadeln	←	Nordlicht	⅄
Nebel	≡	Wind	⥱	Höhenrauch	∞

Die Stärke des Windes kann mit einer gewissen Annäherung dadurch zum Ausdruck gebracht werden, dass man dem die Richtung andeutenden Pfeile mehr oder weniger Federn zusetzt.

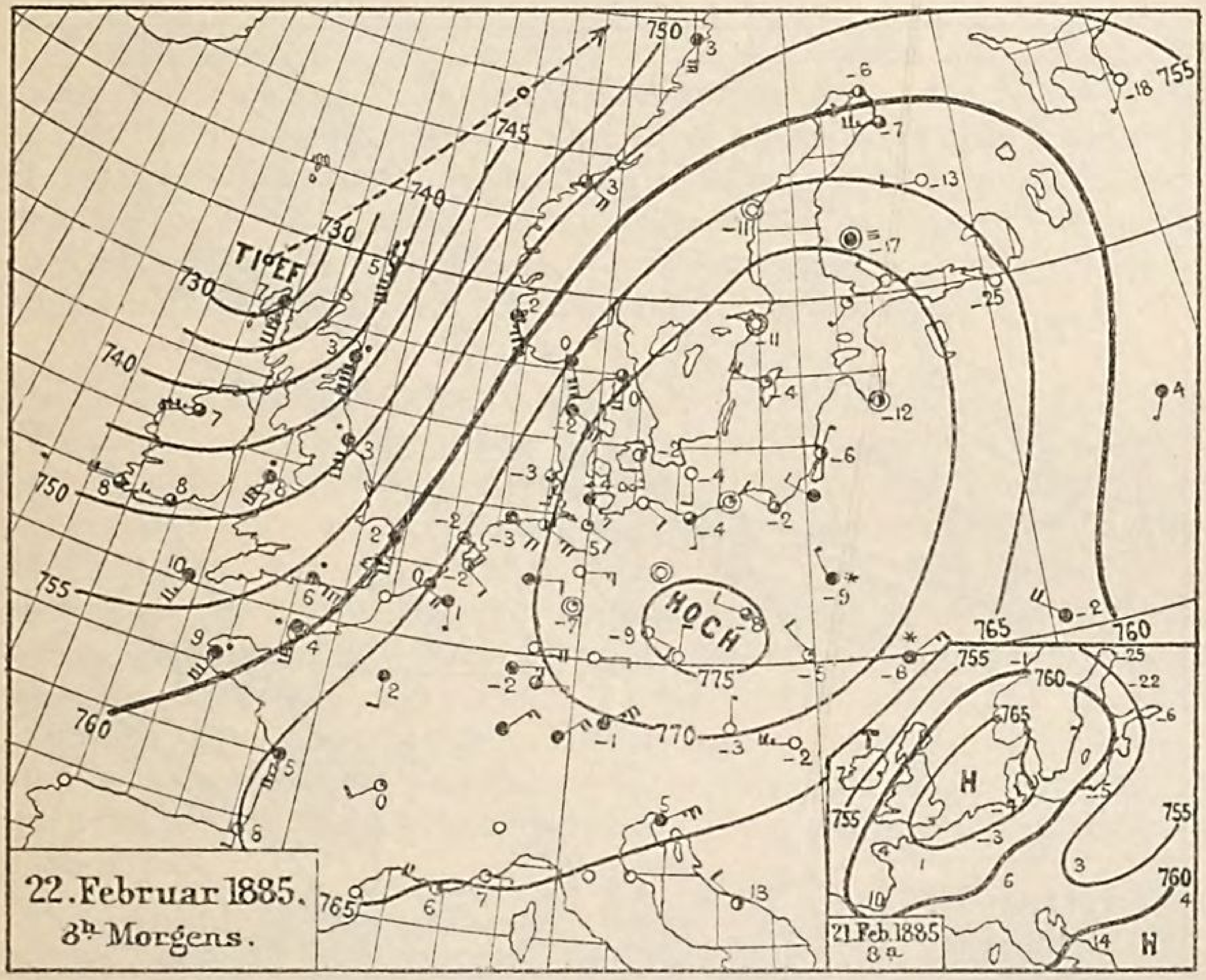
In der Regel werden die Drahtnachrichten sich auf Angaben über Luftdruck, Wind, Temperatur, Niederschlag und Bewölkung beschränken können. Eine solche

Morgendepesche der Seewarte sieht, in ihrer abgekürzten Sprache, etwa so aus, wie es van Bebber [44] an einem Beispiele erläutert:

65808 30589 || 66906 22599 60502 54617 32016.

Der den Einlauf überwachende Beamte dechiffriert diese Zahlengruppierung mittelst eines einfachen Schlüssels. Die Trennungsstriche weisen darauf hin, dass links die Zustände von gestern abend, rechts diejenigen von heute morgen charakterisiert sind. Die Epoche ist beidemal 8^h. Da man sicher weiss, dass jeder Barometerstand zwischen 700 und 800 mm schwankt, so kann man die Zahl 7 stets weglassen, ebenso wie den Einerstrich. Die Zahl 65808 zerfällt in zwei Teile, indem die drei ersten Ziffern den Barometerstand, die zwei letzten die Windrichtung signalisieren; 00 ist so viel wie Windstille, 02 so viel wie NNE, 12 so viel wie SE u. s. w. Man hat also abends 8^h Luftdruck gleich 765,8 mm; Windrichtung E. Von der Zahlenkombination 30589 markiert die erste Ziffer 3 nach Beauforts Skale (S. 74) die Windstärke; die zweite Ziffer 0 gibt Hydrometeore und Bewölkungszustand an

Fig. 69.

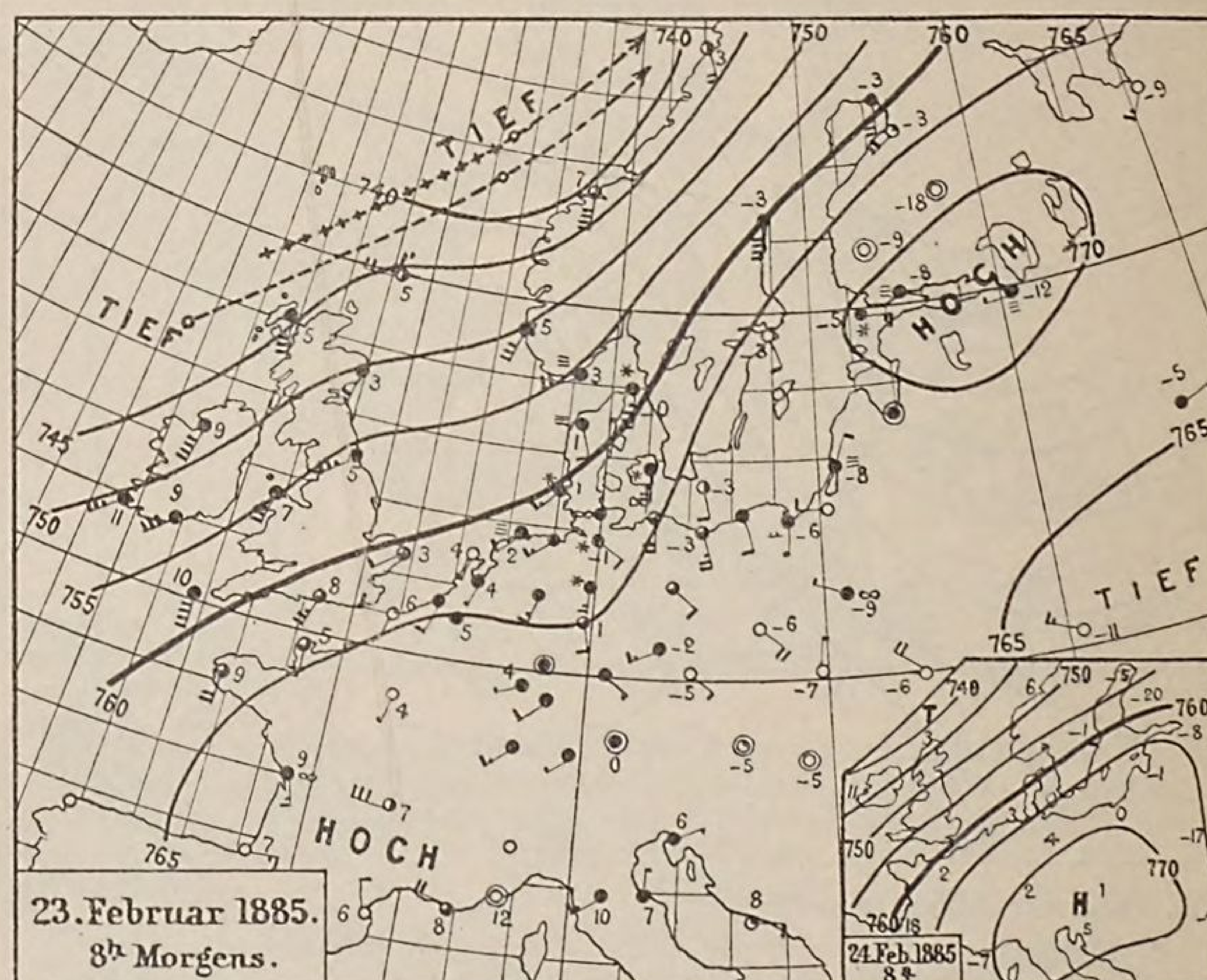


(0 = wolkenlos; 1 = ¼ bedeckt, 2 = ½ bedeckt, 3 = ¾ bedeckt, 4 = ganz bedeckt, 5 = Regen, 6 = Schnee, 7 = Dunst, 8 = Nebel, 9 = Gewitter); die drei letzten Ziffern entsprechen dem Thermometerstande, indem etwa 243 = 24,3° wäre. Sind es Temperaturen unter 0, so hat man zur Anzahl der abgelesenen Grade noch 50 zu addieren, und in unserem Falle ist also $589 = -58{,}9^0 + 50^0 = -8{,}9^0$. Nunmehr ist, was links des Trennungszeichens steht, voll verständlich, und die zwei ersten Zifferngruppen zur Rechten sind ebenso aufzulösen. Die Gruppe 60502 besagt, dass $-10{,}5^0$ die Temperatur des feuchten Thermometers (beim Psychrometer; vgl. S. 67) ist, und dass in 24 Stunden bis heute morgen 8^h nur 2 mm Niederschlag gefallen sind. Die Gruppe 54617 orientiert über den Stand des Maximum- und Minimumthermometers (S. 54). Die letzte Zahlenverbindung, in unserem Falle 32016, fehlt im internationalen Schema und findet nur in Deutschland Berücksichtigung. Aus ihr ist ein näherer Aufschluss über Art und Bewegungsrichtung der Wolken herauszulesen; 3 kennzeichnet Cirrocumuli (S. 31), welche aus SW — hier 20 — ziehen, während die Streifung der Richtung aus S — hier 16 — entspricht.

Wir wissen jetzt, wie die synoptische Karte hergestellt wird. Isobaren und Isothermen können auf Grund des vorstehend erläuterten Zahlenmateriales in die Karte eingetragen werden. Da ferner auch die sommerlichen und winterlichen Zugstrassen der Depressionen bekannt sind (Kap. VI, §. 11), so hat der Meteorologe die Basis, welche er braucht, um sich ein Urteil über das zunächst zu erwartende Wetter bilden zu können. Indessen bedarf es kaum des Hinweises, dass ein schematisches Verfahren allein noch nicht zum Ziele führt, sondern dass auch Takt, Umsicht und Erfahrung bei der Stellung der Prognose sehr ins Gewicht fallen.

Aus den zahlreichen Paradigmen, welche v a n B e b b e r mitteilt, sei eines [45] herausgehoben und näher besprochen. Am 21. und 22. Februar 1885 war ein baro-

Fig. 70.



metrisches Maximum, wie Fig. 69 ersehen lässt, im Fortschreiten von NW nach SE begriffen; die Stelle höchsten Druckes lag am 21. abends über der Nordsee und hatte zwölf Stunden später den Südosten der Provinz Brandenburg erreicht. Von den Orkney-Inseln her drängte ein Minimum nach, in dessen Umgebung stürmische Winde wehten, und die Isobare normalen Luftdruckes (von 760 mm) zog sich von der Bretagne durch die Nordsee und durch Skandinavien gegen Finnland. Zentraleuropa hatte trockenes heiteres Wetter und durchweg Frosttemperaturen, welche gegen Nordosten hin sehr niedrig wurden (St. Petersburg -25^0). Man durfte, da diesmal Zugstrasse I des Winters vorgezeichnet war, vermuten, dass im Verlaufe der nächsten 24 Stunden das erwähnte Minimum stark gegen die norwegische Westküste vorgerückt sein werde, und das war, wie Fig. 70, ein Tableau der Wetterlage am 23. Februar 8^h früh, bekundet, auch wirklich der Fall, während zur Ablösung ersterer Depression eine zweite, aus dem Atlantischen Ozean kommend, westlich von Schottland angelangt war. Das Hochdruckgebiet war nunmehr kein einheitliches mehr, sondern je ein Teilmaximum überlagerte den Finnischen Meerbusen und Südfrankreich. Wenn auch diese Teilung nicht absolut vorauszusehen

war, so durfte doch, auf den von Fig. 69 dargestellten Befund hin, für den grössten Teil Deutschlands eine leichte Trübung, nebst vereinzelten Niederschlägen vorausgesagt werden, indem zugleich eine Erhöhung der Temperatur im Westen, ein Stationärbleiben derselben im Osten als wahrscheinlich erklärt werden musste. Der damit begonnene Prozess musste sich am 24. Februar fortsetzen, an welchem die Antizyklone gegen SE zurückgedrängt war, ohne dass die Zyklone bisher über die britischen Inseln hinaus hätte Terrain gewinnen können.

Die Arbeit, aus welcher die Prognose hervorgeht, darf mithin um so mehr auf gute Resultate hoffen, je gründlicher die Vergleichung konsekutiver Witterungsbilder angestellt war. Das Werk van Bebbers wird mit seiner Fülle von Beispielen deshalb einen unübertrefflichen Ratgeber für den Leiter einer Wetterwarte abgeben. Ein solcher wird ganz ebenso an seiner Ausbildung stetig fortzuwirken haben, wie dies ein Schachspieler thun muss, für den, wenn er seine theoretische Ausbildung bis zu einem gewissen Grade vollendet hat, das Nachspielen und Analysieren von Musterpartien die Hauptaufgabe bleibt. So wenig wie jemals zwei Schachpartien sich in allen Zügen gleichen können, ebensowenig werden je zwei synoptische Karten völlig mit einander übereinstimmen; allein das Studium der individuellen Besonderheiten wird in beiden Fällen dazu führen, die Konsequenzen jeder neu sich ergebenden Gruppierung rasch durchdenken und gewissen allgemeinen Gesichtspunkten unterordnen zu lernen.

§. 5. **Agrarprognose.** Die landwirtschaftliche Wetterprognose repräsentiert einen Unterfall der allgemeinen Wettervorhersage. Nicht alle die Punkte, welche für letztere von Wichtigkeit sind, interessieren den seine besonderen Zwecke voranstellenden Landwirt. Die Schriften von Lorenz v. Liburnau [46] und Schultz [47] geben über die hier in Betracht kommenden Aufgaben jeden wünschenswerten Aufschluss, und auch die Regierung des Deutschen Reiches hat durch die bekannten Agronomen Thiel und Hausburg, in Verbindung mit dem Meteorologen W. Köppen, ein für die Praxis bestimmtes, einschlägiges Regulativ [48] ausarbeiten lassen, welches eben Schultz (s. o.) zum Ausgangspunkte für seine eigenen Darlegungen gewählt hat.

Von den vier Hauptmomenten, welche v. Lorenz (s. o.) als für die Beziehungen zwischen Oekonomie und atmosphärischer Physik massgebend hinstellt, sind drei klimatologischer Natur und im wesentlichen schon oben von uns mitbehandelt, so dass wir es also nur noch mit einem, dem prospektiven, zu thun haben. Es sollen ergründet werden: das durchschnittliche gegenseitige Häufigkeitsverhältnis der einzelnen Windrichtungen, die thermischen, atmischen und nephischen Windrosen (Kap. II, §. 17), die Mittel- und monatlichen Extremwerte der Temperatur, der Luftfeuchtigkeit und der Niederschläge. Man will wissen, wie lange durchschnittlich ein gewisser Wind zu wehen pflegt, was z. B. bei der Anlegung von Hopfenpflanzungen zu beachten ist; man will die mittlere Anzahl der Tage mit Frosttemperaturen kennen; man legt andererseits auch Gewicht darauf, zu erfahren, wie oft und für wie lange die Zeiträume andauern, während deren die Temperatur annähernd mit der Maximal- und Minimaltemperatur der betreffenden Jahreszeit sich deckt. Niederschlagsdichte und Regenwahrscheinlichkeit sollen bekannte Grössen sein. Für die eigentliche Erntestatistik genügen die folgenden Daten: Monatsmittel, Dekaden- und Pentadenmittel der Luftwärme, Datum und Höhe des thermischen Maximums und Minimums in jedem einzelnen Monate, und endlich die analogen Werte für Feuchtigkeit und Regen. Sehr eingehend hat die beste Methode, das Ziel der prospektiven Agrarmeteorologie zu erreichen, ein Aufsatz van Bebbers gekennzeichnet [49].

Derselbe kommt, teilweise im Anschluss an v. Lamonts Betrachtungen [50] über die vorteilhafteste Organisation meteorologischer Beobachtungen, zu dem Vorschlage, es seien Stationen erster, zweiter und dritter Ordnung zu errichten — ein Plan, der schon vielfach Verwirklichung erfahren hatte, wenn auch nicht gerade immer im Dienste des agronomischen Sonderstandpunktes. Die auf ein solches System zu begründende Prognose hätte natürlich, verglichen mit der Witterungsprognose im allgemeinen, wesentlich vereinfachten Anforderungen zu genügen; Stürme z. B., die nicht auch zugleich heftigen Regen mit sich bringen, können den Landleuten ziemlich gleichgültig sein, während andererseits eine leidlich genaue Vorherbestimmung der Nachtfröste (s. S. 267) der vollsten Wertschätzung beteiligter Kreise sicher sein dürfte.

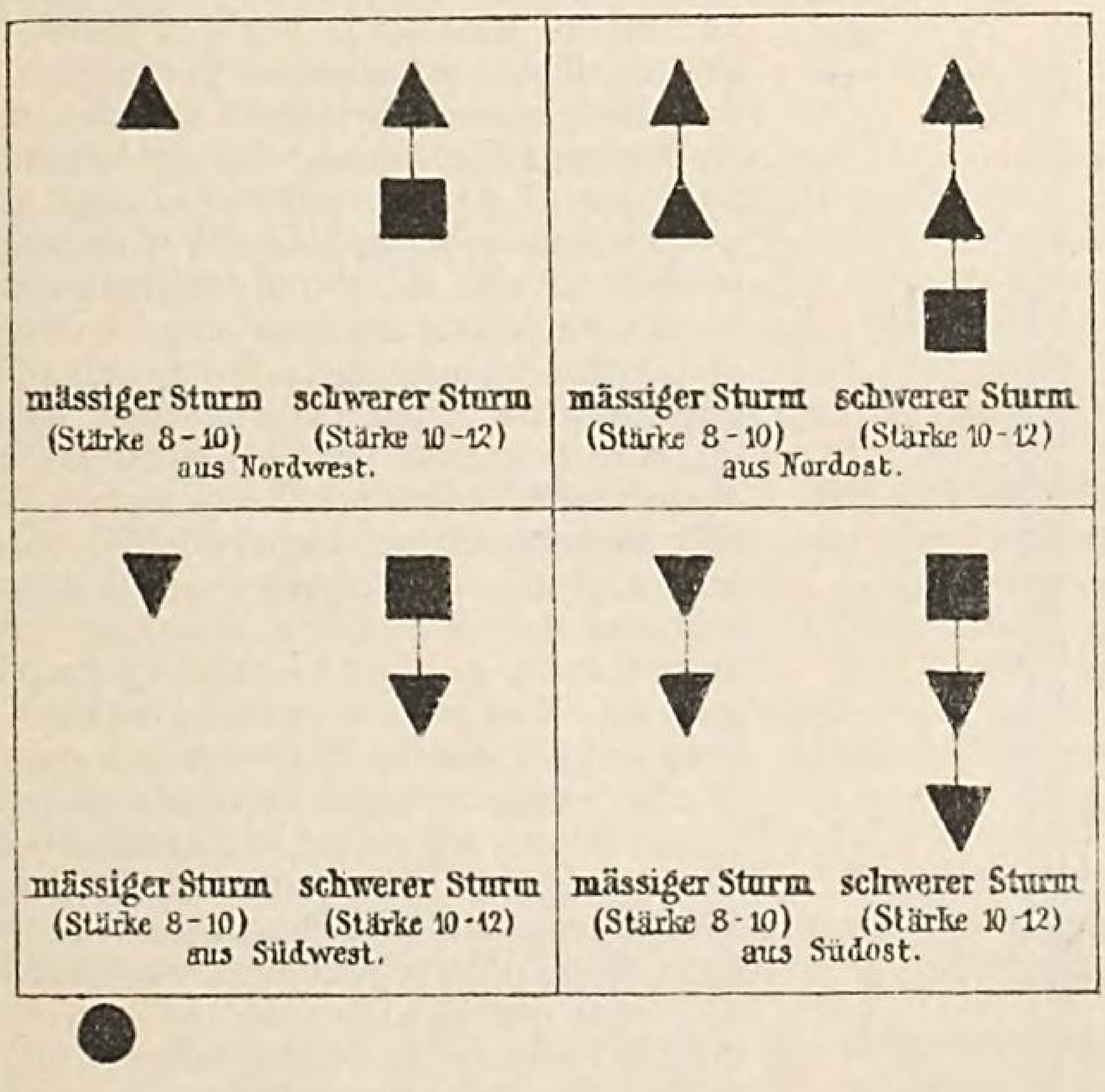
Eine sehr einschneidende Nebenfrage ist ferner die, Prognosen den Bewohnern des flachen Landes möglichst rasch und möglichst bequem zur Kenntnis zu bringen. Nach dieser Seite hin sind die Bestrebungen der Amerikaner als mustergültig anzuerkennen, welche van Bebbers Werk [51] uns genau kennen lehrt. Von sogenannten „Farmer's Bulletins", welche für den praktischen Landwirt bestimmt sind, durch Anschlag am Gemeindehause sofort jedermann zugänglich gemacht werden und sich in Bälde die volle Anerkennung der zwar kritisch angelegten, aber auch mit scharfem Verständnis für das Nützliche und Notwendige begabten Yankees erwarben, wurden schon 1882 mehr denn 8000 Stück täglich ausgegeben [52]. Die Zuckerpflanzer Louisianas empfangen ebenso besondere Frostwarnungen, wie die Grundbesitzer von Texas, von Kentucky, von Florida wegen der in diesen Staaten vorzugsweise gepflegten Kulturen. Neben dem elektrischen Telegraphen kann auch ein optisches Signalsystem treffliche Dienste leisten.

Daran war, wie van Bebber bemerkt [53], bereits in den neunziger Jahren des XVIII. Jahrhunderts gedacht worden; Lavoisier und Romme hatten sich zu Gunsten einer meteorologischen Verwendung des kurz zuvor eingeführten optischen Staatstelegraphen ausgesprochen. Praktisch verwertet hat man den glücklichen Gedanken zuerst in den Vereinigten Staaten, und auch in Sachsen hat Bruhns [54] derartige Signale sowohl für die Hochwasserprognose (s. u. in Kap. IV der fünften Abteilung), als auch für die gewöhnliche Agrarprognose nutzbar zu machen geraten. Eine schwarze, an einem hohen Flaggenmaste aufgezogene Kugel soll regnerische, eine weisse Kugel soll voraussichtliche trockene Witterung ankündigen, und durch eine Kombination schwarzer und weisser Bälle würden Uebergangszustände vermerkt werden. Damit sind wir aber bei einem Prinzipe der Markierung angekommen, welches besondere Erörterung erheischt.

§. 6. **Küstenmeteorologie und Sturmwarnungswesen.** Die litorale Prognose stellt sich eine noch enger beschränkte Aufgabe, als dies die landwirtschaftliche thut, aber dafür muss sie innerhalb dieses Bereiches auch eine besonders hohe Exaktheit anstreben. Ihr Zweck ist es, Stürme vorherzusagen, worauf dann durch geeignete Zeichen der Seemann von der ihm drohenden Gefahr verständigt wird. Diese Sturmwarnung ist neuerdings zu grosser Vollendung gebracht worden. Die Grundidee des Verfahrens ist ein Eigentum Buys Ballots [55]; nachmals haben sich die Meteorologenkongresse vielfach damit beschäftigt, wozu u. a. v. Boguslawskis Bericht [56] und die Mitteilungen van Bebbers [57] zu vergleichen wären. In Grossbritannien war [58] Fitzroy die treibende Kraft, und ihm sind, so sehr er auch gegen unverständige Verkennung zu kämpfen hatte, die ersten dort erzielten Erfolge zu verdanken; die Anfänge des nordamerikanischen Sturmwarnungsdienstes hat uns Schildbach [59] beschrieben. Zur allgemeinen Orientierung ist ein Schriftchen von Sohncke [60] sehr zu empfehlen.

Unsere Schilderung hält sich wesentlich an die für Deutschlands Küsten getroffenen Bestimmungen [61], ohne die Massregeln des Auslandes gänzlich zu vernachlässigen. Die Versendung und Bearbeitung der Depeschen ist nicht beträchtlich verschieden von jener, die wir oben in §. 4 schon kennen lernten, indem nur rasches Fallen des Barometers, weil dadurch bekanntlich (S. 220) ein Sturm zumeist prognostiziert wird, erhöhte Aufmerksamkeit hervorruft. Ist die Zentralstelle überzeugt, einen aus bestimmter Richtung herannahenden Sturm ankündigen zu können, so verständigt sie die längs der Küste verteilten Signalstellen, deren es zwei Klassen gibt. Diejenigen erster Klasse sind so ausgerüstet, dass sie die in Fig. 71 übersichtlich abgebildeten Kugeln, Zylinder und Kegel am Signalmaste auszuhängen vermögen, während die untergeordneten Stellen sich begnügen, einen Ball an hoher Stange zu befestigen; damit ist allen im Gesichtsbereiche der Station befindlichen Schiffen eröffnet, dass innerhalb eines Kreises von 185 km Halbmesser (100 Seemeilen) stürmisches Wetter zu erwarten ist. Die zu Ende der achtziger Jahre veranstaltete Enquête [62] der Seewarte hat ergeben, dass das Sturmwarnungssystem sehr gut funktionierte, wenn auch manche Wünsche auf Vervollkommnung laut — und teilweise berücksichtigt wurden. Bei Nacht treten Laternen an die Stelle der Bälle. Man weiss, dass gewiegte Seeleute einen

Fig. 71.



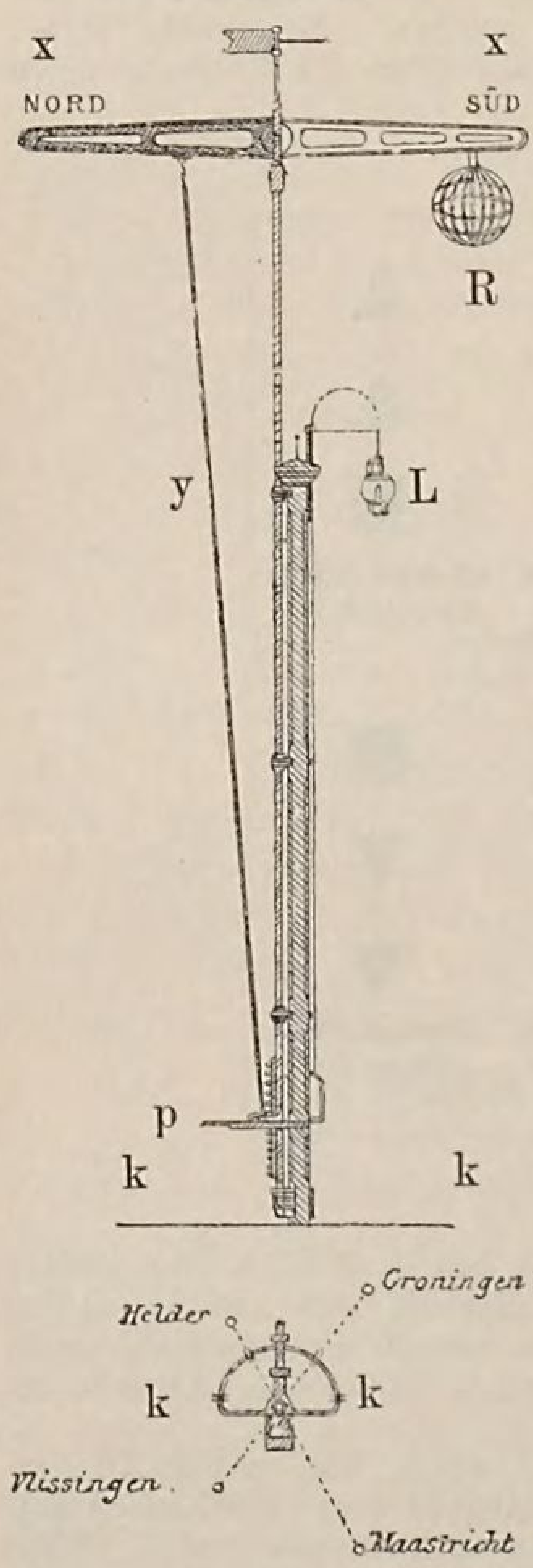
gewöhnlichen Sturm — mit den tropischen Seestürmen hat es freilich eine andere Bewandtnis (vgl. S. 218) — dann nicht fürchten, wenn sie sich auf hoher See befinden, und diese zu erreichen, ermöglicht ihnen ein Warnungssignal auch dann, wenn etwa die Windrichtung das Anlaufen eines Nothafens allzusehr erschweren sollte.

Den geübten Nautiker will Buys Ballot [63] durch das in Fig. 72 dargestellte Aëroklinoskop (ἀήρ, Luft; κλίνειν, sich neigen; σκοπεῖν, schauen) entgegenkommen, welches auf den holländischen Stationen verwendet wird. Eine grosse, geflochtene Kugel R ist zur Hälfte rot, zur Hälfte weiss gefärbt, so dass die rote Seite stets nach N weist. Nahe dem Fusspunkte des Mastes ist horizontal der Bogen k k angebracht, an welchem vier Marken die Richtungen nach den Orten Helder, Groningen, Maastricht und Vlissingen markieren. Der Hebel p gestattet es, den — in der Figur zunächst horizontal gezeichneten — Arm x x horizontal zu drehen, so dass er mit einer der beiden ausgezeichneten Geraden H M oder G V übereinstimmt, je nachdem aus einer der vier Richtungen ein Sturm droht. Aber auch die voraussichtliche Intensität des Sturmes erkennt ein geschultes Auge an dem Neigungswinkel, um welchen mit Hilfe der Stange y der Arm x x gedreht ward.

Dieser Winkel ist nämlich im gegebenen Falle dem Gradienten (S. 190) oder der zwischen dem Beobachtungsplatze und einem der vier Orte H, M, G, V augenblicklich bestehenden Luftdruckdifferenz proportional. Zur Nachtzeit wird, wenn am Abend vorher die Witterungslage Sturm ahnen liess, die Laterne L aufgezogen. Neuerdings adoptierte Holland das deutsche Warnungssystem.

Unausgesetzt werden von den Zentralstellen Prüfungen der Sturmwarnungsresultate vorgenommen, bei denen natürlich zu beachten ist, dass auch das Nichteintreffen verkündigter Stürme nicht vorkommen sollte, während das Gegenteil die Methode noch mehr diskreditiert. Wer das Wesen dieser Prüfungen im einzelnen zu studieren wünscht, wird bei van Bebber [64] alle einschlägigen Nachweisungen finden. Dass Stürme, die Verluste von Menschenleben und Material brachten, ohne vorhergegangene Warnung unsere Küsten erreicht hätten, gehört [65] zu den grössten Seltenheiten.

Fig. 72.



Immerhin darf man auf den erworbenen Lorbeeren nicht ausruhen, und so hat denn van Bebber auf einem anlässlich der Lübecker Naturforscherversammlung gehaltenen Vortrage die Desiderate des bestehenden Systemes bündig dargelegt [66]. Er verlangt Einführung des amerikanischen Circuit-Systemes (S. 349) und der Telemeteorographie, welche eine telegraphische Verbindung der Zentralanstalt mit den selbständigen Registratoren (Kap. II, §. 15) der einzelnen Stationen anstrebt [67]. Das Gutachten spricht sich ferner für den Depeschenaustausch in grösserem Masstabe aus, befürwortet stärkere Heranziehung des grossen Publikums, welchem mehr Teilnahme für eine auch volkswirtschaftlich so bedeutsame Angelegenheit einzuflössen sei, und regt die Herausgabe von Wetter- und Sturmatlanten an. Vor allem aber liege die Notwendigkeit vor, die Wettertelegraphie weiter gegen Westen auszudehnen. Schon Hoffmeyer [68], der die Herkunft der unser europäisches Wetter regelnden Zyklonen aus dem westlichen Weltmeere zuerst mit voller Bestimmtheit erkannt hatte, war von der Ueberzeugung durchdrungen, dass Wetterprognose und Sturmwarnung erst dann auf ganz festen Füssen ständen, wenn die Beobachtungsstationen der Fär-Öer, der Azoren, sowie auch womöglich Islands und Südgrönlands mit Europa, diejenigen der Bermudas mit Nordamerika telegraphisch verbunden würden, um solchergestalt synoptische Karten für den gesamten Norden des Atlantik zu erhalten. Und da sehr häufig Stürme amerikanischen Ursprunges bei ihrem Wege über den Ozean so viel an lebendiger Kraft verlieren, dass eine ihnen Rechnung tragende Warnung sich für die deutschen Küsten als illusorisch erweist, so wollte Hoffmeyer einen förmlichen wettertelegraphischen Dienst für das Atlantische Meer ins Leben rufen [69], allein so billigenswert dieser Plan auch den meteorologischen Kongressen erschien, und so lebhaft ihn Tiedgen, der Direktor der grossen nordischen Telegraphengesellschaft, unterstützte, gleichwohl musste bislang die Ausführung an der Höhe der Kosten scheitern. — Für nicht allzu distante Küstengebiete kann der Heliograph einen Ersatz der fehlenden Drahtverbindung bringen [70], die Kommunikation durch Signale reflektierter Lichtes, welche schon zu wiederholtenmalen im Kriege mit Nutzen angewendet worden ist; der spanische Geodät Ibañez hat auf diese Weise zwischen Marokko und Spanien schon über grosse Entfernungen weg

telegraphiert. Auf den Maskarenen, die von furchtbaren Drehstürmen (S. 218) besonders häufig heimgesucht werden, hat man sich der heliographischen Sturmwarnung gleichfalls schon mit vielem Nutzen bedient.

§. 7. **Wetterprognose auf längere Frist.** In so verschiedener Form uns bisher auch die Wettervorhersage entgegentrat, darin herrschte Uebereinstimmung, dass sich dieselbe stets nur auf ganz kurze Fristen erstreckte. Die synoptische Karte, das unentbehrliche Handwerkszeug prognostischer Arbeit, konnte und wollte auch nicht mehr leisten, vielmehr muss, wenn überhaupt eine solche Mehrleistung denkbar ist, von anderen Hilfsmitteln Gebrauch gemacht werden. Bis jetzt sind Untersuchungen dieser Art nach zwei Richtungen hin angestellt worden. Man kann versuchen, Gesetzmässigkeiten auch in der Aufeinanderfolge der anscheinend unperiodischen Witterungserscheinungen aufzudecken; man kann aber auch aus der Verschiebung der grossen ozeanischen Aktionszentren Folgerungen betreffs des meteorologischen Charakters eines längeren Zeitraumes zu ziehen suchen.

Forschungen der erstbezeichneten Art liegen von Hann [71] und von Hellmann-G. Karsten [72] vor. Ersterer verglich für Wien die Mitteltemperaturen der Jahreszeiten im Verlaufe eines Jahrhunderts (1775—1874) und fand, dass wenn in einem Falle eine Jahreszeit namhaft vom Mittel abweicht, mit grosser Wahrscheinlichkeit geschlossen werden kann, die entsprechende Jahreszeit des nächstfolgenden Jahres werde im gleichen Sinne vom Mittel abweichen. Diese Erhaltungstendenz spricht sich am schwächsten im Frühling aus. Hellmann entnahm seiner umfassenden Statistik den Erfahrungssatz, auf einen mässig warmen Sommer folge am wahrscheinlichsten ein gemässigter, auf einen heissen Sommer dagegen ein kalter Winter. Aus diesen Studien, denen früher schon ähnliche von Eisenlohr [73] und Quetelet [74] vorangegangen waren, folgt somit [75], dass die sehr verbreitete Ansicht, es müsse einem kalten Winter gewöhnlich ein heisser Sommer und einem warmen Winter ebenso ein kühler Sommer folgen, dem wirklichen Thatbestande widerspricht, dass es dagegen viel wahrscheinlicher ist, einem Winter von bestimmtem Charakter werde auch ein Sommer von gleichem Charakter nachfolgen.

So bemerkenswert diese Feststellungen auch unzweifelhaft sind, so eignet ihnen doch keine unmittelbare Bedeutung für die Prognose. Das Wesen einer Wettervorausbestimmung auf längere Zeit ist von Hoffmeyer [76] und Teisserenc de Bort [77] zuerst schärfer präzisiert worden. Deutschen Lesern hat diese vielversprechende Lehre van Bebber in verschiedenen Publikationen [78] zugänglich gemacht, indem er dieselbe zugleich selbständig weiterbildete.

Wenn wir uns zunächst an die Witterungsverhältnisse Mitteleuropas halten, so sehen wir diese beherrscht in erster Linie von den grossen atlantischen Aktionszentren (S. 182), dann aber in zweiter Linie von den über Europa sich herausbildenden Hochdruckgebieten oder Hauptwettertypen, deren van Bebber fünf unterscheidet. Die für einen gegebenen Zeitpunkt fixierte Lage eines solchen Maximalgebietes ist dann auch für die Witterung einer ganzen Reihe von Tagen massgebend. Für Deutschland ist besonders wichtig der Fall, in welchem ein Areal hohen Druckes über Südeuropa liegt, während Depressionen den Norden unseres Erdteiles durchziehen.

Man weiss bei solcher Sachlage, dass im Winter ein warmes, windiges und regnerisches, im Sommer ein feucht kühles Wetter mit ausgesprochener Neigung zur Gewitterbildung vorwalten muss. Meistenteils folgt einem Minimum, welches in den Kontinent eingetreten ist, bald ein zweites auf wenig abweichendem Wege nach, und damit ist der Prognose die Möglichkeit eröffnet, auf ein paar Tage den allgemeinen Charakter des Wetterganges anzugeben, sobald sie nur über den Ort

des bestimmenden Hauptwettertyps sich im klaren befindet. Wie wertvoll es sein müsste, vom Herannahen weiterer Zyklonen und Antizyklonen schon vom Meere her im voraus unterrichtet zu sein, das leuchtet jetzt ganz besonders ein.

Wie beträchtliche Fortschritte jede Art der Prognose, die kurz- wie die langfristige, aber auch machen möge, stets wird man sich gegenwärtig zu halten haben, dass ein namhafter Fortschritt nur nach und nach erwartet werden darf. Insbesondere muss der Prognosenbezirk, für dessen Bereich allein die Nachprüfung günstige Resultate ergeben kann, durch vorgängige Untersuchung möglichst genau umschrieben sein. Es ist ungereimt, zu erwarten, auch die beste Prognose, die etwa in Hamburg oder München ausgegeben wird, müsse von vornherein für Schlesien oder für das Untermainthal Gültigkeit besitzen. Winkelmann [79] und Mantel [80] haben gezeigt, dass Niederschlagsbeobachtungen am besten zur Abgrenzung der Prognosenbezirke sich eignen, und auch für Bayern ist von Horn [81] eine erfolgreiche Bearbeitung dieser Frage durchgeführt worden.

Habenicht hat [82] daran erinnert, die Häufigkeit treibender Eisberge im Nordatlantik auch als einen massgebenden Faktor für die europäische Prognose anzuerkennen. Es wird, nachdem jener Geograph mit seiner fleissigen Statistik vorangegangen ist, gewiss nichts einzuwenden sein, wenn man untersucht, ob nicht vielleicht die Lage der Aktionszentren in etwas durch die Eisfrequenz des Meeres beeinflusst werden könne, aber daran darf man nicht denken, auf einer noch so wenig erforschten Kausalbeziehung Prognosen für längere Sicht aufzubauen.

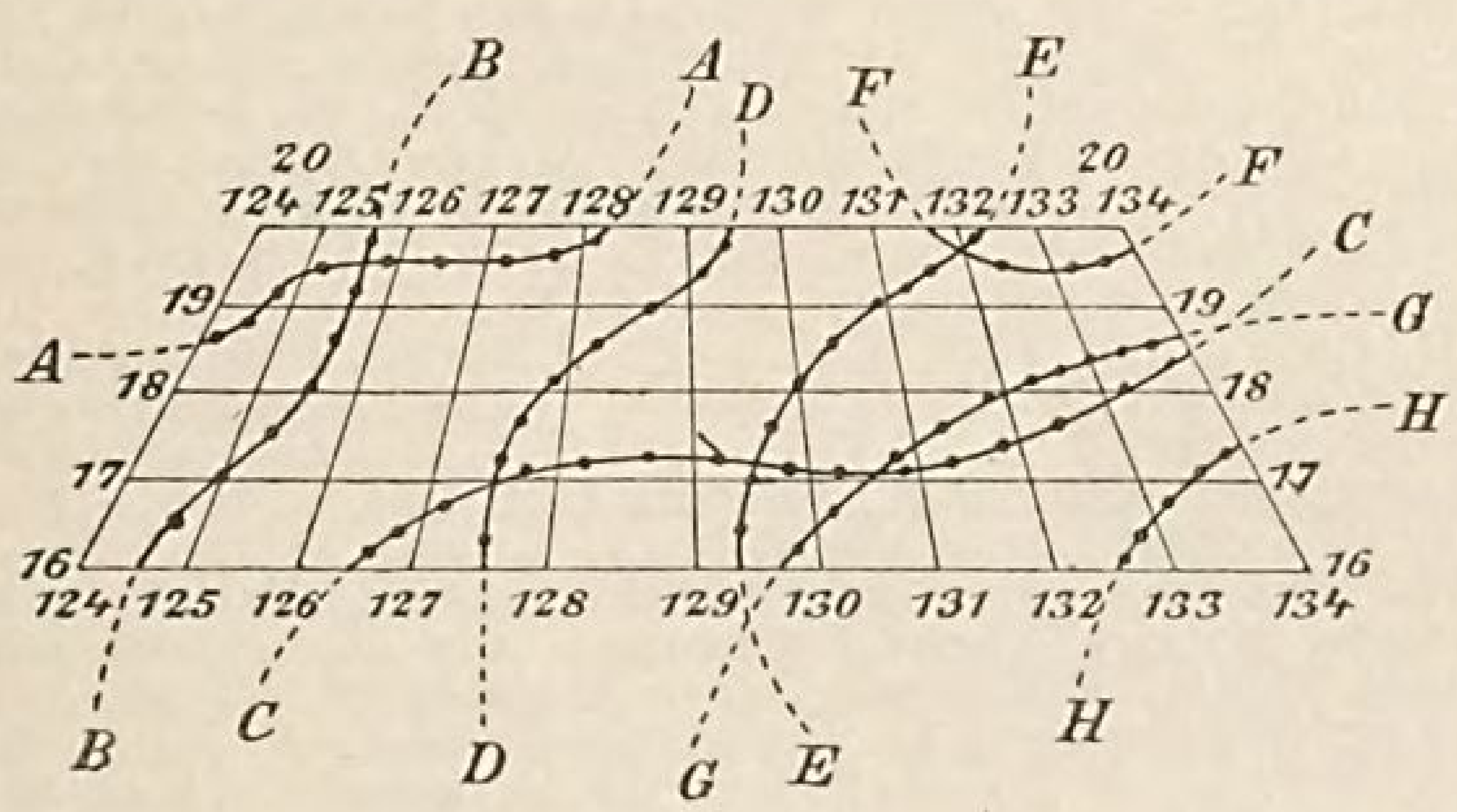
§. 8. **Maritime Meteorologie.** Im Gegensatze zu den früheren Paragraphen dieses Kapitels tritt, wenn wir zur Meteorologie des Meeres übergehen, die eigentliche Wettervorhersage in den Hintergrund. Die Aufgabe dieses neuen Wissenszweiges, dessen Grundlinien ein von Maury angeregter Kongress aller Seefahrt treibenden Nationen im Jahre 1853 absteckte [83], ist dahin zu formulieren: Der allgemeine Witterungscharakter einer bestimmten Meeresgegend ist durch Sammlung aller in diese Gegend fallenden Beobachtungen festzustellen. Dann kann mit Aussicht auf guten Erfolg an die Ermittelung des besten zwei Erdorte verbindenden Schiffahrtskurses herangetreten werden. Des weiteren hat sich aber im Laufe der Zeiten als eine zweite Pflicht der maritimen Meteorologie die hinzugefunden, schwere Stürme auf dem Meere selbst zu prognostizieren und Regeln für den Schiffsführer aufzustellen, mittelst deren man jener furchtbaren Gefahr möglichst zu begegnen hoffen darf.

Neben Maurys Werk (s. o. §. 1) fallen die Berichte von Neumayer [84] über die Ziele und das Arbeitsprogramm unserer Disziplin am meisten ins Auge. Durch die Bemühungen dieser Fachmänner und der von ihnen geleiteten Anstalten ist man dahin gelangt, für die einzelnen Meere und Meeresteile Segelhandbücher und Segelanweisungen („Sailing Directions") verfassen zu können, welche den Kapitän in den Stand setzen, in kürzester Zeit die ihm vorgeschriebene Route zu erledigen. Wie notwendig dies ist, mag schon aus der Thatsache erhellen, dass die noch sehr im Naturzustande verharrenden Mikronesier sich eine Art primitiver Segelanweisung geschaffen haben [85], welche auf scharfer Beobachtung der ihren Meeren eigentümlichen Dünungsrichtung (vgl. S. 261) beruht. Schück, der uns diese Mitteilung machte, hat auch in populärer Form die Entwickelung einer physikalisch begründeten Lehre von den Schiffahrtskursen geschildert [86]. Wissenschaftliche Werke für einzelne Meere wurden zuerst von Angelsachsen, von Knorr und Kropp [87], von Toynbee [88], von Evans und Hull [89] u. a. herausgegeben; dann haben auch die Oesterreicher diesem Gegenstande ihre Aufmerksamkeit zugewendet [90], und deutscherseits ist, durch Zusammenwirken der Admiralität mit der Seewarte, eine Fülle von Schriften veröffentlicht worden, zu welcher in den „Annalen der Hydrographie und maritimen Meteorologie" noch unausgesetzt Nachträge erscheinen. Der Norweger Geelmuyden machte z. B. öffent-

lich bekannt [91], wie sehr ihm durch die Vorschriften der Deutschen Seewarte die Reise von Australien nach Kalifornien erleichtert wurde. Es versteht sich ganz von selbst, dass von dem Augenblicke an, da man — im Entdeckungszeitalter — von der Küstenschiffahrt zur Hochseeschiffahrt überging, das Bedürfnis nach solchen Erleichterungsmitteln des schweren Seemansberufes sich geltend machte, und Gelcich hat die älteren Versuche, dieses Bedürfnis zu befriedigen, gründlicher Erörterung unterzogen [92], allein solange man auf die Empirie allein angewiesen war, mussten die Fortschritte langsam sein. Erst 1565 ermöglichte Urdaneta die Fahrt von den Philippinen nach Mexiko [93], indem er zuerst weit nach Norden fuhr und sich dann vom herrschenden Winde in den Hafen von Acapulco treiben liess; vorher galt es für ausgeschlossen, den Stillen Ozean in der Richtung von West nach Ost zu durchkreuzen, ein Umstand, der die Kontroverse [94] Kirchhoffs mit Ruge, ob ein gewisser sächsischer Abenteurer v. Miltitz rund um die Erde herumgekommen sei, zu Ruges Gunsten entschied. Den Entwickelungsgang der Zeiten kann man ermessen, wenn man Mendozas Kompendium [95] von 1575, das erste Winde, Meeresströmmungen und Schiffskurse gehörig berücksichtigende nautische Lehrbuch mit demjenigen von Maury (s. o.) vergleicht, welches die zur Durchlaufung der Strecke England-Neuholland erforderliche Zeit von einem halben Jahre auf 70 bis 90 Tage herabgesetzt hatte, die aber nunmehr schon wieder stark vermindert werden konnte.

Die maritime Meteorologie von heute geht in folgender Weise zu Werke. Die einzelnen Seevölker teilen eine gegebene ozeanische Fläche so unter sich aus,

Fig. 73.



dass jedes von ihnen eine bestimmte Anzahl sogenannter Gradfelder zugewiesen erhält. Sagen wir etwa, einem Staate sei das sphärische Trapez (Fig. 73) zugefallen, welches zwischen 16° und 20° n. Br. und 124° und 134° ö. L. (also in der Südsee) gelegen ist und in 40 Eingradfelder zerlegt werden kann. Dem mit der Bearbeitung des Witterungszustandes dieser Meerespartie Betrauten sollen die acht sein Gebiet durchschneidenden Schiffahrtswege AA, BB, CC, DD, EE, FF, GG, HH bekannt sein; durch Punkte sind die Stellen bezeichnet, an denen der Schiffsführer jeweils meteorologische Beobachtungen vornehmen liess. So hat der erstere im ganzen (9 + 7 + 15 + 8 + 9 + 3 + 10 + 5 =) 66 Gruppen zusammengehöriger Aufzeichnungen über Wärme, Luftdruck, Bewölkung, Wind, Seegang u. s. w., und je mehr solcher Daten er in die Hände bekommt, um so genauer wird die meteorologische Erforschung seines Trapezes. Neumayers Anordnungen dankt die Seewarte einen reichen Schatz genau geführter und kontrollierter Schiffsjournale, deren Inhalt für die maritime Meteorologie zum einen Teile schon ausgenützt ist, zum anderen Teile erst noch solcher Verwertung entgegenharrt.

Jähes Sinken des Schiffsbarometers kündet dem Schiffer unter allen Umständen nahen Sturm an, und falls ein solcher auf hoher See erwartet werden muss, so gilt es, durch geschicktes Manövrieren die grosse Gefahr thunlichst zu paralysieren. Aus unserer Beschreibung des Wesens eines tropischen Wirbelsturmes (S. 269) geht hervor, dass ein Schiff, über welches das „Sturmesauge“ erst noch hinwegzugehen hat, sich in schlimmerer Lage befindet, als ein dem rück-

wärtigen Teile der Achse des Sturmfeldes benachbartes. Damit ist dem Steuermanne die Aufgabe gestellt, sein Fahrzeug aus dem „gefährlichen“ Halbzylinder des Luftwirbels in den „minder gefährlichen“ hinüberzuretten.

Regeln hiefür stellte schon eine frühere Zeit auf, aber erst seit etwa 20 Jahren können dieselben als ihrem Zwecke entsprechend betrachtet werden. Wir verweisen auf den Ratgeber der Deutschen Seewarte [96], sowie auf die Darlegungen von Knipping [97], Schück [98], Gelcich [99], Attlmayr [100], van Bebber [101]. Die mancherlei instrumentalen, zu gleichem Zwecke ersonnenen Vorrichtungen — Dromoskope (δρόμος, Lauf); Hornkarten (Verschiebung einer durchsichtigen Tafel über der Seekarte); Zyklonographen u. s. w. — sind von Gelcich [102] untersucht und auf ihre Brauchbarkeit geprüft worden.

[1] Maury-Boettger, Die physische Geographie des Meeres, Leipzig 1856; van Bebber, Handbuch der ausübenden Witterungskunde, I, Stuttgart 1885. S. 296 ff, — [2] Franceschini, Witterungskunde und Wetterprophezeiung, N. Z., 1883, S. 86. — [3] Kortholt, Von dem Zwiebel-Kalender, K. B. S., VII, S. 62 ff. — [4] Wehrs, Vorzeichen der Witterung an einigen Tieren, Pflanzen und leblosen Dingen, Hannover 1814. — [5] Zeidler, Die Blumen als Stundenanzeiger und Wetterpropheten, Naumburg s. a. — [6] Scultetus, Prognosticon meteorographicum perpetuum, Görlitz 1572. — [7] J. Weber, Die Spinnen sind Deuter des kommenden Wetters, Landshut 1800. — [8] Quatremere-Disjonvals Araneologie oder Naturgeschichte der Spinnen nach den neuesten, bis jetzt unbekannten Entdeckungen, vorzüglich in Rücksicht auf die daraus hergeleiteten Angaben atmosphärischer Veränderungen, aus dem Französischen, s. l. 1798. — [9] J. Weber, S. 48. — [10] Ellner, Wetteranzeigen aus der Tierwelt; die Spinne als Wetterprophetin, W. M., XII, S. 214 ff. — [11] Madeweis, Dissertatio de filamentis Divae Virginis, quae vulgo dicuntur Sommer- oder Mariengarn, Jena 1671. — [12] Voigt, Grundzüge der Naturgeschichte, Frankfurt a. M. 1817, S. 613. — [13] Schübler, Die Zugvögel als Witterungspropheten, K. A. C. M., IV, S. 399 ff. — [14] C. L. Brehm, Einige Bemerkungen über die Möglichkeit, die Witterung durch genaue Beobachtung des Betragens der Vögel und anderer Tiere im voraus erkennen und bestimmen zu können, O. J., 1848, Sp. 561 ff. — [15] Wiegmann, Vorausbestimmung niederer Lufttemperatur aus dem Erscheinen stinkender Nebel und des Höhenrauches, K. A. N., XV, S. 495 ff. — [16] Schön, Beitrag zur Bestätigung der Wiegmannschen Regel, K. A. C. M.; II, S. 382 ff. — [17] Kämtz, Lehrbuch der Meteorologie, III, Halle a. d. S. 1836, S. 50. — [18] Clausius, Die Lichterscheinungen der Atmosphäre, dargestellt und erläutert, B. M. O., I, S. 396. — [19] Piazzi Smyth, Notes sur les spectres prismatiques des corps célestes, C. R., LVIII, S. 71 ff. — [20] Abercromby-Pernter, Das Wetter, eine populäre Darstellung der Wetterfolge, Freiburg i. B. 1894, S. 263. — [21] H. J. Klein, Praktische Anleitung zur Vorausbestimmung des Wetters, Leipzig 1885, S. 30. — [22] Felbiger, Anleitung, jede Art von Witterung genau zu beobachten und in Karten zu verzeichnen, Breslau 1773. — [23] H. Hertz, Meteorologische Zeichnungen aus den Jahren 1779—1783, M. Z., VI, S. 231 ff. — [24] Buys Ballot, Erläuterung einer graphischen Methode zur gleichzeitigen Darstellung der Witterungserscheinungen an verschiedenen Orten, A. P. C., 4. E. B., S. 559 ff. — [25] Franceschini, S. 90 ff. — [26] Brocard, Organisation actuelle du service météorologique en Europe, Algier 1881. — [27] Jurin, Invitation ad observationes meteorologicas communi consilio instituendas, London 1724. — [28] Traumüller, Die Mannheimer meteorologische Gesellschaft (1780—1795); ein Beitrag zur Geschichte der Meteorologie, Leipzig 1885. — [29] Boeckmann, Wünsche und Aussichten zur Erweiterung und Vervollkommnung der Witterungslehre, Karlsruhe 1788; Erklärung und Bitte an die Freunde und Beförderer des badischen Institutes der Meteorologie, ebenda 1779. — [30] Wittmann, Vorschlag zu einer Vorhersagung der Witterung durch Mitteilung des elektrischen Telegraphen, Didaskalia vom 2. Oktober 1850. — [31] Ratzel, Physische Geographie und Naturcharakter der Vereinigten Staaten von Nordamerika, München 1878, S. 304 ff. — [32] Kirsch, Die Vorausbestimmung des Wetters, Breslau 1889; Timm, Wie gestaltet sich das Wetter? Wien-Pest-Leipzig 1891. — [33] van Bebber, Handbuch der ausübenden Witterungskunde, Stuttgart 1885—86. — [34] van Bebber, Die Wettervorhersage, Stuttgart 1891; 2. Aufl., ebenda 1898. — [35] Bruhns, Ueber das meteorologische Bureau für Witterungsprognosen im Königreiche Sachsen, Leipzig 1879. — [36] Krebs, Wetterkarten und Wetterprognose, Frankfurt a. M. 1879. — [37] Die Physik im Dienste des täglichen Lebens, Stuttgart 1884, S. 113 ff. — [38] Günther, Die praktische Meteorologie der Gegenwart, A. N. G. N., VII, S. 119 ff. — [39] Tarry, Échanges des télégrammes météorologiques entre l'Europe et l'Afrique, Bordeaux 1878. — [40] van Bebber, Wettervorhersage, S. 11 ff. — [41] van Bebber, Handbuch etc., I, S. 307. — [42] O. E. Krause, Ein Vorschlag, Witterungsnachrichten in Deutschland rasch zu verbreiten, Annaberg 1880. — [43] Hellmann, Repertorium der deutschen Meteorologie, Leipzig 1883, Sp. 257. — [44] van Bebber, Wettervorhersage, S. 16. — [45] Ebenda, S. 85 ff. — [46] Lorenz v. Liburnau, Ueber die Bedeutung und Vertretung der land- und forstwirtschaftlichen Meteorologie, Wien 1879. — [47] Schultz, Bemerkungen zum Berichte über Organisation des meteorologischen Dienstes im Interesse der Land- und Forstwirtschaft, Berlin 1879. — [48] Die Organisation eines meteorologischen Dienstes im Interesse der Land- und Forstwirtschaft für das Gebiet des Deutschen Reiches, Berlin 1879. — [49] van Bebber, Die Meteorologie im Dienste der Landwirtschaft, D. R., 1877. — [50] v. Lamont, Das Beobachtungssystem der Societas Palatina und der gegenwärtige Standpunkt der Meteorologie, Z. ö. G. M., II, S. 369 ff., 397 ff. — [51] van Bebber, Handbuch etc., I, S. 320 ff. — [52] Ebenda, I, S. 326. — [53] Ebenda, I, S. 275 ff. — [54] Bruhns, a. a. O., S. 26. — [55] Buys Ballot, Suggestions on a uniform System of Meteorological Observations, Utrecht 1872. — [56] v. Boguslawski, Bericht über Wettertelegraphie und Sturmwarnungen, abgestattet an den Meteorologischen Kongress zu Wien, Berlin 1874. — [57] van Bebber, Handbuch etc., I, S. 329 ff.; II, S. 89 ff. — [58] Ebenda, II, S. 92. — [59] Schildbach, Die Witterungsbeobachtungen und die Sturmsignale in den Vereinigten Staaten von Nordamerika, A. a. Wn., IV, S. 184 ff. — [60] Sohncke, Ueber Stürme und Sturmwarnungen, Berlin 1875. — [61] Organisation des Systemes und der Arbeit des Küstenwarnungswesens und der Küstenmeteorologie, Hamburg 1878. — [62] Berichterstattung von Lotsenkommandeuren, Hafenmeistern, Vor-

ständen von Signalstellen u. s. w. über die Wirksamkeit der Sturmwarnungen an der deutschen Küste, Hamburg 1889. — [63] Buys Ballot-Jelinek, Das Aëroklinoskop und Regeln, mittelst desselben die bevorstehenden Aenderungen des Windes mit einiger Wahrscheinlichkeit vorherzusehen, Z. ö. G. M., V, S. 451 ff. — [64] van Bebber, Die Prüfung der Wetterprognosen und die Erhaltungstendenz der Witterung, W., 1891, S. 268 ff.; Handbuch etc., II, S. 404 ff. — [65] Ebenda, II, S. 416. — [66] van Bebber, Das Sturmwarnungswesen an der deutschen Küste und Vorschläge zur Verbesserung desselben, N. R., X, S. 628 ff. — [67] van Bebber, Handbuch etc., I, S. 315 ff. — [68] Hoffmeyer, Étude sur les tempêtes de l'Atlantique septentrional et projet d'un service télégraphique international relatif à cet océan, Z. ö. G. M., XV, S. 345 ff. — [69] van Bebber, Handbuch etc., I, S. 314 ff.; II, S. 432 ff. — [70] Heliograph als Wettertelegraph, G., XIX, S. 251. — [71] Hann, Ueber die mittlere Temperatur und den mittleren Luftdruck zu Wien, Z. ö. G. M., XIV, S. 434 ff. — [72] Hellmann, Ueber gewisse Gesetzmässigkeiten im Wechsel der Witterung aufeinanderfolgender Jahreszeiten, S. A. B., 1885, I, S. 205 ff.; P. N. V. S. H., V. — [73] Eisenlohr, Untersuchungen über die Zuverlässigkeit und den Wert der gebräuchlichsten Wetterregeln, namentlich der sogenannten Bauernregeln und Lostage, Karlsruhe 1847. — [74] Quetelet, Mémoire sur la température de l'air à Bruxelles, M. A. B., XXXVII, (1866) 1869. — [75] van Bebber, Handbuch etc., II, S. 448. — [76] Hoffmeyer, Die Verteilung des Luftdruckes über dem Nordatlantischen Ozean während des Winters und dessen Einfluss auf das Klima von Europa, Z. ö. G. M., XIII, S. 337 ff. — [77] Teisserenc de Bort, Etudes sur l'hiver 1879—80 et recherches sur la position des centres d'action de l'atmosphère dans les hivers anormaux, A. B. M. F., 1881, IV. — [78] van Bebber, Handbuch, II, S. 417 ff.; Die Beurteilung des Wetters auf mehrere Tage voraus, Stuttgart 1896; Wettervorhersage, S. 174 ff. — [78] Ebenda, S. 186. — [79] Winkelmann, Wie erhält man aus Regenbeobachtungen eine Begrenzung von Prognosenbezirken? Z. ö. G. M., XVI, S. 225 ff. — [80] Mantel, Untersuchung über die räumliche Verteilung gleichzeitiger Niederschläge in der Schweiz, Z. ö. G. M., XVII, S. 377 ff. — [81] Horn, Ein Beitrag zur Kenntnis der zeitlichen und räumlichen Verteilung der Niederschlagsfähigkeit in Bayern, München 1885. — [82] Habenicht, Die Häufigkeit der Eisberge und die Klimaschwankungen, A., LXV, S. 277 ff.; Die Ursachen der Luftdruckverhältnisse über Europa, A., LXVI, S. 513 ff. — [83] Maritime Conference held at Brussels for divising a uniform System of Meteorological Observations at Sea, Brüssel 1853; Sabine, Ueber die Organisation meteorologischer Beobachtungen zu Lande und zur See, Z. ö. G. M., IV, S. 132 ff., 153 ff., 191 ff. — [84] Neumayer, Der Weltverkehr zur See und die Geophysik in ihrer Wechselwirkung, T. 44. N. V., S. 160 ff.; Bericht über die Pflege der maritimen Meteorologie in Deutschland . . ., erstattet an den zweiten internationalen Meteorologenkongress in Rom, Hamburg 1879. — [85] Schück, Die Segelanweisungen der Karolinen-Indianer, A. H. m. M., X, S. 149; Ratzel, Völkerkunde, I, Leipzig 1894, S. 154. — [86] Schück, Ueber die Wege des Ozeans für Segelschiffe, Hamburg 1874. — [87] Knorr-Kropp, Physical Geography of the Raid Sea, with Sailing Directions, Washington 1872. — [88] Toynbee, A Discussion of the Meteorology of a Part of the Atlantic, London 1872; On the Physical Geography of the Atlantic between 20° N. and 10° S., ebenda 1876. — [89] Evans-Hull, Wind an Current Charts of the Atlantic, Pacific and Indian Ocean, London 1872. — [90] Handbuch der Hydrographie und maritimen Meteorologie, II, Wien 1883, S. 653 ff., 821 ff. — [91] Segelschiffsroute von Newcastle N. S. W. nach San Diego (Kalifornien), A. H. m. M., XXI, S. 60 ff. — [92] Gelcich, Beiträge zur Geschichte der ozeanischen Schiffahrtsregeln und Segelhandbücher, A., LXV, S. 769 ff., 791 ff., 809 ff., 824 ff., 835 ff.; Beiträge zur Geschichte der ozeanischen Segelanweisungen, A. H. m. M., XXI, S. 217 ff., 252 ff., 294 ff. — [93] Gelcich, Studien zur Entwickelungsgeschichte der Schiffahrt, mit besonderer Berücksichtigung der nautischen Wissenschaften, Laibach 1882, S. 78 ff. — [94] A. Kirchhoff, Ein sächsischer Weltumsegler des XVI. Jahrhunderts, M. V. E. H., 1881, S. 67 ff.; S. Ruge, Bernhard v. Miltitz kein Weltumsegler, A. s. G. A., III, S. 66 ff. — [95] Gelcich, Studien etc., S. 82. — [96] Der Pilote, ein Führer für Segelschiffe, Hamburg 1881. — [97] Knipping, A great Taifun of August 1880, Yokohama 1881. — [98] Schück, Die Wirbelstürme oder Zyklonen mit Orkangewalt, Oldenburg 1881. — [99] Gelcich, Physische Geographie des Meeres, Wien 1881, S. 169 ff. — [100] Handbuch etc., II, S. 177 ff. — [101] van Bebber, Die Wirbelstürme, D. R., 1878; Handbuch etc., II, S. 456 ff. — [102] Gelcich, Der Viscovichsche Zyklonograph nebst einigen geschichtlichen Bemerkungen über Orkan-Dromoskope, Z. J., 1883, S. 161 ff.

Kapitel XI.

Hygienische Meteorologie.

§. 1. **Witterung, Klima und menschliche Gesundheit.** Dass die atmosphärischen Zustände auf die Gesundheit des Menschen, ja aller höher entwickelten Organismen überhaupt, einen nicht geringen Einfluss üben, ist bekannt genug, und mit vollem Rechte durfte deshalb van Bebber seinem diese Beziehungen im ganzen darstellenden Werke [1] den Namen einer hygienischen Meteorologie (ὑγίεια, Gesundheit) geben. Schon die wechselnde Zusammensetzung der Luft ist nichts weniger denn gleichgültig, und auch ohne spezielle Rücksicht auf etwaige Krankheitszustände ist die Ernährung und Bekleidung vom Klimacharakter direkt abhängig. Auch die Bewegungen in der

Atmosphäre müssen den Arzt interessieren. Weiterhin aber ist, wie schon die Alten bis zu einem gewissen Grade eingesehen hatten, eine geographische Pathologie oder Nosologie (πάθος, Leiden; νόσος, Krankheit) als eine Notwendigkeit erkannt worden, und eine besondere Berücksichtigung erheischen die Tropenkrankheiten, schon unter dem Gesichtspunkte der jetzt mehr denn je Beachtung verlangenden Kolonialpolitik. Endlich ist auch daran noch zu denken, dass die Höhe über dem Meere ein sanitärer Faktor von hoher Bedeutung ist, und dass, wenn ein gewisses Mass dieser Höhe überschritten ist, schlimme Folgen fast niemals ganz ausbleiben. Damit ist der Umfang dieses nach allen Seiten hin interessanten Grenzgebietes zwischen Meteorologie und Heilkunde klar genug umschrieben. Neben der vorerwähnten Schrift ist auch eine solche von Hoh [2] zu empfehlen, welche sich allerdings ein noch allgemeineres Ziel gesteckt hat.

Vor allem ist, wie bereits angedeutet, der Gehalt der Luft an irrespirablen Gasen (irrespirabilis, nicht einzuatmen), vorab an Kohlensäure von Wichtigkeit (Kap. I, §. 8). Solange aufsteigende Luftströme ventilierend wirken, schadet auch ein starker Zusatz dieses — in mässigen Mengen ja notwendigen — Gases nicht, aber bei stagnierender Luft kann z. B. in grossen Fabrikstädten die Kohlensäure recht nachteilig werden [3]. Räumen, in denen viele Menschen leben, muss stets neue Luft, nötigenfalls durch besondere Apparate, zugeführt werden; auch weiss man, dass ein mit Pflanzen gefülltes Zimmer kein geeigneter Ort zum Schlafen ist, weil der vegetative Körper (S. 16) bei Nacht Kohlensäure nach aussen abgibt. — Eine chemische Verbindung, welche unter Umständen geradezu Gefahr zu bringen vermag, ist der Schwefelwasserstoff, der sich zum Glücke den Geruchsorganen von selber verrät. Nach Hoh [4] enthält stagnierende Kloakenluft 13,79 % Sauerstoff, 81,21 % Stickstoff, 2,01 % Kohlensäure, 2,99 % Schwefelwasserstoff. Doch ist der vulgäre Glaube, dass gerade diese Materie Krankheiten erzeugen könne, durch die im Jahre 1854 anlässlich der Cholera-Epidemien in Augsburg und München vorgenommenen Luftanalysen als irrig nachgewiesen worden. Auch ein erhöhtes Quantum Ammoniak, an welches bekanntlich (S. 18) Salpeter- und salpetrige Säure häufig gebunden vorkommen, ist vom Uebel [5]. Dagegen ist die Kirchhofluft, der man ehedem alles mögliche Schlimme nachsagte, keineswegs besonders ungesund, und es sind ihr Verwesungsgase durchweg nur in so minimalen Quantitäten beigemengt [6], dass daraus kein Schaden entstehen kann.

Dass staubfreie Luft so gut wie niemals beobachtet wird, haben wir ebenfalls (S. 19) erfahren. Unter normalen Umständen kann man vom Staubgehalte absehen, aber wenn derselbe ein gewisses Mass überschreitet, so arbeitet die Lunge unter erschwerten Umständen, und die pathologische Anatomie kennt nur zu gut die mit Fremdkörpern durchsetzten Atmungsorgane gewisser Klassen von Handwerkern und Fabrikarbeitern. Schon Ramazzini hat vor zweihundert Jahren den Staubinhalationskrankheiten eine noch jetzt geschätzte Monographie [7] gewidmet, und durch die verdienstvollen Arbeiten [8] von Hirt und Merkel ist die Lehre von den Gewerbekrankheiten zu einem wichtigen Bestandteile der speziellen Pathologie erhoben worden; die Mittel zur prophylaktischen Bekämpfung derselben werden in den Berichten der Gewerberäte und Fabrikinspektoren eifrig diskutiert. Am meisten kommt natürlich an auf rationelle Ventilation; die Theorie derselben ist durch v. Pettenkofer, Recknagel, Wolpert u. a. begründet, von J. Rosenthal aber gemeinfasslich erläutert worden [9]. Wer es gelernt hat, durch die Nase und nicht durch den Mund zu atmen, ist, wie van Bebber physiologisch darthut [10], gegen schädliche Inhalationen von vornherein besser geschützt.

Die Winde sind ein einflussreicher hygienischer Faktor, obwohl es kaum angeht, bestimmte Winde als Krankheitsbringer zu bezeichnen. So hat Höfler [11] gezeigt, dass die zahlreichen Mitteilungen über angebliche Föhnkrankheiten der Begründung entbehren; wahr ist ja, dass die raschen Witterungsumschläge, welche der Föhn (Kap. VI, §. 9)

mit sich bringt, namentlich zu Erkältungen u. s. w. disponieren, allein davon, dass dieser warme Fallwind ein spezifischer Erreger von Pneumonien sei, ist keine Rede. Wind ist bewegte Luft, und dieser gegenüber bethätigt unser Leib eine gewisse Empfindlichkeit, zumal wenn dadurch im Erwärmungszustande der Gesamtatmosphäre plötzliche Aenderungen bedingt werden.

Nähere Erörterung des Windeinflusses findet man bei van Bebber [12]. Um nur einzelner Punkte zu erwähnen, so ist es gewiss kein Zufall, dass den modernen Grossstädten eine Tendenz des Wachstums gegen Westen innewohnt; unsere regelmässigen europäischen Winde kommen eben aus W., und man wünscht nicht, dass Neubauten im Bereiche der mit den Ausdünstungen volkreicher Emporien beladener Luftströmungen angelegt werden. Sehr belehrend sind ferner die Erfahrungen, welche aus den Untersuchungen von Ripperger [13] und C. Lang [14] über die Verbreitung der sogenannten Influenza (influere, beeinflussen) gesammelt haben. Diese scheinbar sehr moderne Krankheit war schon in früheren Jahrhunderten erkannt und am schärfsten von Mitgliedern der Mannheimer Meteorologischen Gesellschaft (S. 3) beobachtet worden; ihre Fortpflanzung folgte stets den Ostwinden, nicht deshalb, weil diese Winde an und für sich der Infektion Vorschub leisten, sondern weil diese Winde uns die Keime der Krankheit von den im Osten, vorzugsweise in Russland, gelegenen Infektionsherden zuführten. Man thut also immerhin wohl daran, bei vorkommenden Krankheiten auf Jahreszeit, Klima und Witterung Bedacht zu nehmen, zumal dann, wenn dieselben einen epidemischen Charakter (ἐπιδημία, Volkskrankheit) annehmen. Das ist namentlich von Wichtigkeit bei den im Gefolge von Kriegen auftretenden Seuchen; ein vielbeschäftigter Militärarzt, der die meisten Napoleonischen Feldzüge mitmachte, hat uns nach dieser Richtung schätzenswerte Mitteilungen hinterlassen [15]. Die epidemiologische Wirksamkeit der Winde wird noch einer gründlicheren Berücksichtigung seitens der Fachmänner teilhaftig werden müssen.

Auch ist in den einzelnen Jahreszeiten der Körper verschieden disponiert. Zumal während des Entwickelungszustandes, also im kindlichen Alter, tritt diese verschiedene Rezeptivität der Sonnenwärme gegenüber stärker hervor. Die sehr eingehenden Untersuchungen Malling-Hansens [16] überzeugen uns, dass das Körpergewicht, der Insolation entsprechend, regelmässigen Schwankungen unterworfen ist.

Was die Nahrungsaufnahme anlangt, so ist dieselbe vom Klima thatsächlich in geringerem Grade abhängig, als lange angenommen wurde. Die spärlichen Notizen, welche man über das Sättigungsbedürfnis von Japanern, Malayen, Neapolitanern und Nordeuropäern hatte, schienen die unerwartete Erscheinung zu bekräftigen, dass man im kalten und im warmen Klima ziemlich gleich viel Nahrung benötige. Das anscheinende Paradoxon ist durch eine grossartige Versuchsreihe von Voit [17] als ein Naturgesetz nachgewiesen worden.

Menschen sind durchaus kein leicht zu überblickendes Versuchsobjekt; die Militär- und Trambahnpferde, welche der Münchener Physiologe seiner Prüfung unterstellte, besitzen jene Eigenschaft in viel höherem Grade. Es zeigte sich, dass die gegebenen Futtermengen und die durch deren Konsumtion erzeugten Kalorien allerorts merkwürdig übereinstimmten. Die Eiweisszersetzung wird durch die Temperatur der Umgebung nicht erheblich beeinflusst, während das Quantum der im Körper zersetzten stickstoffreien Stoffe zunächst von der Arbeitsleistung abhängt. Die Nahrungsstoffe liefern nicht die Mittel zur Hervorbringung der Körperwärme selber, sondern einen Ueberschuss. „Die Sache liegt also so, dass bei dem gleichen Organismus bei gleicher Arbeitsleistung auch die gleiche Zersetzung stattfindet, in der Kälte, wie in der Wärme . . . Die Kälte und Wärme bedingen nicht direkt den verschiedenen Erfolg, sondern die Grösse der Arbeit ist das Bestimmende.“ Wenn mithin, wie durch Hunderte von Zeugnissen bestätigt wird, der Polarreisende stets einen wahren „Fetthunger“ zu beschwichtigen hat, so liegt dies daran, dass auch an ihn stets betreffs der körperlichen Leistungsfähigkeit sehr hohe Anforderungen herantreten, weit höhere, als sie einem Tropenreisenden gestellt zu werden

pflegen. Dürfte er sich träger Ruhe hingeben, so würde sein Appetit auch ein ziemlich normaler sein, aber eben jene stete Rührigkeit, welche ihm von der Natur des Landes auferlegt wird, zwingt ihn auch, den Abscheu des Europäers vor den dem Eskimo geläufigen Speisen zu überwinden und so in seinem Körper stetig eine starke Verdauungs-, d. h. Verbrennungswärme zu erzeugen.

Auch die physische und seelische Konstitution wird vom Klima teilweise geregelt. So ist, wie Ratzel [18] hervorhebt, der Unterschied zwischen den Nordländern und Südländern des gleichen Staats nicht bloss ein durch Rassenverschiedenheit und abweichende geschichtliche Entwickelung bedingter, sondern er hat seine Wurzeln auch in der Nichtübereinstimmung des Klimas. Italien und die angelsächsischen Länder liefern dafür die besten Beweise.

Der ernste Piemontese, der so überaus fleissige Lombarde, der in ganz Deutschland als nüchterner und kräftiger Arbeiter viel begehrte Bewohner der Provinzen Belluno und Udine — sie alle stehen in einem leicht erkennbaren Gegensatze zum Neapolitaner und Sizilianer, und dieser Gegensatz ist nicht lediglich dadurch zu erklären, dass den ersteren Stämmen germanisches, den anderen maurisches Blut neben dem gemeinsamen romanischen in den Adern rollt. Das trockene Klima Nordamerikas, welches mit dem maritimen Klima der Heimatsinsel vertauscht wurde, hat den Angloamerikaner sehnig und hager gemacht, auch sein Nervensystem eigenartig beeinflusst. Aber auch im Unionsgebiete selbst stehen sich Nord und Süd nicht bloss als politische Pole gegenüber, sondern der politischen Trennung liegen ethnographische Momente zu Grunde [19], die sich teilweise selbst wieder auf eine klimatische letzte Ursache zurückführen lassen. Sehr umfassend sind diese Fragen der klimatischen Anpassung in Amerika von Herrick und Hammond behandelt worden [20], und Reich hat [21] von den Resultaten dieser Forscher den Deutschen nähere Nachricht zukommen lassen.

§. 2. Geographische Krankheitslehre. Schon des Hippokrates klassisches Büchlein (I, S. 3) „περὶ ἀέρων, ὑδάτων, τόπων“ zieht die Umrisse einer geographischen Pathologie, und die Folgezeit hat auf dem von ihm gelegten Grunde rüstig weiter gebaut, je mehr Erfahrungen sich zu den bereits vorhandenen hinzugesellten. Den Standpunkt, welcher um die Mitte des XIX. Jahrhunderts erreicht war, kennzeichnet unübertrefflich das eine seltene Gelehrsamkeit bekundende und als Ratgeber auch der Gegenwart unentbehrliche Handbuch von Hirsch [22]. Allein da seitdem unsere Auffassung des Wesens der Pathogenese (γένεσις, Entstehung) durchaus andere geworden sind, so musste auch die Auffassung sich grundstürzend ändern, welche man sich über die geographische Bedingtheit der Krankheitsformen gebildet gehabt hatte.

Das unbestimmte Wort Miasma (ursprünglich Verunreinigung) musste als Nothelfer für alle gesundheitsstörenden Ursachen dienen, ohne dass man es befriedigend zu erklären vermocht hätte. Die moderne Medizin dagegen hält sich überzeugt, dass die meisten Leiden ganz bestimmten und nachweisbaren Krankheitserregern zuzuschreiben sind, welche von aussen her in den Organismus gelangten, sei es durch Einatmung oder mit der Nahrung oder wie sonst immer. Dadurch wird also fast jede Krankheit zu einer Vergiftung; die Luft ist nicht allein, wie alte landesherrliche Mandate erklären, zu Zeiten einer Sonnen- und Mondfinsternis [23] „alteriert und vergifft“, sondern sie ist dies immer fort, und Millionen kleinster Gesundheitsfeinde sind unaufhörlich zu einer Invasion bereit, welche allerdings nur dann gefährlich wird, wenn das befallene Individuum den Eindringlingen ein guten Nährboden entgegenbringt. Zwei Menschen können gleichzeitig, und unter fast gleichen Umständen, angegriffen werden, und doch erkrankt vielleicht nur der eine, während beim anderen der Seuchenkeim nicht zur Entfaltung gelangt. Den grossen Mikroskopikern der Gegenwart, der Schule eines Pasteur

und R. Koch, ist es gelungen, die pathogenen Mikroorganismen (μικρός, klein) nicht bloss durch besondere Färbungsversuche unter dem Glase zu erkennen und zu identifizieren, sondern dieselben auch im Laboratorium mittelst sogenannter Reinkulturen nach Belieben zu züchten, wie dies am besten aus der für Studierende berechneten Anleitung zur pathogenetischen Forschung von Heim [24] ersehen werden kann. Die meisten jener winzigen Lebewesen sind Pilze, und zwar unterscheidet man [25] Schimmelpilze, Sprosspilze und Spaltpilze oder Bakterien, während daneben auch Protozoen (πρῶτος, der erste; ζῶον, Tier; also gewissermassen Urtiere) oder tierische Wesen einfachster Beschaffenheit eine Rolle spielen. Am häufigsten hat der Arzt mit Bakterien zu thun, einzelligen, den Algen ähnlichen Pflanzengebilden, als deren bekannteste Vertreter wieder die stäbchenförmigen Bacillen (von baculus, Stab) anzusehen sind. Sie sind als die Träger gewisser spezifischer Krankheiten, so bei Tetanus, Milzbrand, Typhus, Aussatz, Diphtherie, beim Rotz der Pferde u. s. w. erkannt worden. Wenn nun aber so ziemlich alle gefürchteteren Leiden des Menschen auf Infektion beruhen, ist da nicht der Annahme, auch Klima und Boden seien integrierende pathologische Faktoren, der wahre Grund entzogen? Dieses Bedenken will zuerst im einen oder anderen Sinne entschieden sein.

Genaue Betrachtung sehr vieler Krankheiten belehrt uns darüber, dass zwar so manche von ihnen kosmopolitisch sind und überall in der gleichen Form auftreten, dass anderen dagegen ein sozusagen bodenständiger Charakter zukommt, und im letzteren Falle ist auch das Klima ein in die Wagschale fallendes Moment. Wir verweisen z. B. auf die Angaben von Hirsch über das gelbe Fieber [26] und über die in Niederländisch-Indien endemische Gliederhypertrophie (Wucherung) Beriberi [27]. Auch von Pest und Cholera lässt sich ein Gleiches behaupten.

Wenn auch die Pest unter mancherlei Namen, unter denen die des schwarzen Todes am häufigsten uns begegnet, ganz Europa im Mittelalter überzog und auch das ferne Grönland nicht verschonte, worüber die Monographie von Hecker [28] uns orientiert, so steht doch soviel fest, dass sie dem Orient entstammt; auch jetzt noch ist sie dort nicht auszurotten, während die Fortschritte der Hygiene der Pestgefahr im Abendlande ein Ende bereitet haben. In einem Vortrage, welchen Koch im Juni 1898 vor den Mitgliedern der Deutschen Gesellschaft für öffentliche Gesundheitspflege hielt, ist allerdings hervorgehoben, dass man in Europa noch immer nicht allzu sorglos sein dürfe, dass man vielmehr sogar in London verschleppte Pestfälle entdeckt habe, deren Natur an dem Vorhandensein gewisser von Kitasato und Yersin aufgefundener Bakterien festzustellen war. Die Ratten scheinen als Beförderer der Pilze gewirkt zu haben. Koch behauptet die Existenz von vier getrennten Pestherden; drei davon, der chinesische, arabische und mesopotamische, waren von je bekannt, und ganz neuerdings ist dann noch ein zentralafrikanischer ermittelt worden, der in unmittelbarster Nähe des Ostrandes des Viktoria-Sees vermutet werden darf. Die Heimat der Cholera ist nach übereinstimmender Ansicht der Fachleute Vorderindien; in den Tanks (Dorfteichen) Hindostans, welche gleichmässig zur Tränkung und Reinigung von Mensch und Vieh dienen, konnte Koch zuerst den charakteristischen, strichartigen Komma-Bacillus als selten fehlenden Bewohner nachweisen [29]. Es gewinnt also doch den Anschein, dass für die Pest- und Cholera-Mikroben ein bestimmtes Klima die günstigsten Existenzbedingungen darbietet; unter anderen Verhältnissen können sie wohl vorübergehend ihre Kraft entfalten, aber ihre Virulenz (Giftwirkung) schwächt sich in fremdem Lande rascher ab. Und dass diese Abschwächung auch ihre klimatischen Ursachen hat, kann nicht bezweifelt werden.

Der uns mehrfach bekannte Gegensatz der Hauptklimate bewahrheitet sich auch im gegenwärtigen Falle. Die gemässigte Zone ist zwar nur allzu reich mit menschlichen Uebeln aller Art behaftet, aber es befindet sich darunter kaum eines, das nicht auch unter kalten und heissen Himmelsstrichen vorkommen könnte. Der Polarzone fehlen

endemische Bakterienkrankheiten gänzlich; werden sie eingeschleppt, so können sie freilich, unterstützt durch die Unreinlichkeit hyperboräischer Wohnungen, verheerend wirken. Am entschiedensten spricht sich die klimatische Eigentümlichkeit in den Tropenkrankheiten aus.

Spitzbergen gilt mit gutem Grunde als so gesund, dass die Möglichkeit nicht abgeleugnet werden kann, die Sommerhôtelanlagen auf dieser Inselgruppe zu Sanatorien (Gesundheitsstationen) erweitert und ausgestaltet zu sehen [30]. Die Schleimhaut und die Verdauungsorgane werden bei denen, welche bei sehr niedrigen Temperaturen Wanderungen auszuführen haben, stark in Anspruch genommen; Frostschäden sind häufig; Stillung des unendlich lästigen Durstes mit ungeeigneten Mitteln zieht Entzündungen des Mundes nach sich; allein allen diesen Störungen gegenüber behauptet sich die Heilkraft der Natur in ihrem Rechte, und sie würde es noch in höherem Grade thun, wenn nicht die Länge des Polarwinters auch seelische Veränderungen mit sich brächte, denen auf ärztlichem Wege weniger beizukommen ist [31]. Auch der Scharbock oder Skorbut [32], welcher so oft schon die Bemannung arktischer Expeditionsschiffe dezimiert hat, ist an und für sich nicht dem hohen Norden eigen, sondern kommt nur bei schlechter Luft, wie sie in den Massenquartieren der überwinternden Schiffe sich bildet, und bei unzureichender Proviantierung leichter zum Ausbruche. Luftwechsel, Pflanzen- und ergiebige Fleischkost, sowie körperliche Bewegung und seelische Aufmunterung haben sich immer als die besten Spezifika gegen jene Blutzersetzungskrankheit erwiesen. Gerade wegen ihrer geistig anregenden Wirkung hält A. E. v. Nordenskiöld [33], abweichend von dem strengeren Temperenzstandpunkte anderer Polarfahrer, mässige Gaben alkoholischer Getränke für recht erspriesslich.

Die Anzahl der Leiden, welche man als das Tropenklima kennzeichnend betrachten darf, ist eine grosse. Wir sind jetzt nicht mehr auf die älteren Berichte angewiesen, welche die Tropenkrankheiten gelegentlich mitbehandelten, sondern wir besitzen wertvolle Monographien darüber, unter denen hier nur diejenigen von Schellong [34], Felkin [35] und Däubler [36] genannt sein mögen; ein Aufsatz [37] dieses letzteren Autors setzt das Wesen der einschlägigen medizinisch-geographischen Fragen gemeinverständlich auseinander. Auch auf Kongressen ist darüber viel verhandelt worden. Dahin gehört der zehnte internationale Medizinerkongress, auf welchem der berühmte holländische Kolonialarzt Stokvis über die hygienischen Hilfsmittel zur Bekämpfung der Tropengefahr referierte [37]; hierher auch der siebente internationale Kongress für Hygiene und Demographie, für welchen Felkin, Moore, Markham und van den Berg die Berichterstattung übernommen hatten. Auch die 59. Versammlung deutscher Naturforscher und Aerzte (Wiesbaden 1877) brachte eine Fülle bemerkenswerter Vorträge und Mitteilungen in der neugeschaffenen Abteilung für Tropenhygiene; von denselben ist eine zusammenfassende Ausgabe [38] veranstaltet worden, auf welche wir im folgenden Bezug nehmen werden. An Stoff zur Beurteilung der den kolonisierenden Völkern erwachsenen Pflichten gebricht es also nicht. Ehe wir jedoch den Einzelheiten uns zuwenden, muss zuvor noch eine prinzipielle Entscheidung getroffen werden.

Man hat nach dem Vorgange Virchows [39] scharf auseinanderzuhalten die rein klimatische und die pathologische Akklimatisation. Erstere ist erforderlich, um den Körper zu schützen und teilweise auch abzuhärten gegen gewisse Schädigungen, welche dem Charakter des Klimas entsprechen, gegen welche aber bei Anwendung der richtigen Vorsichtsmassregeln ein ausreichender Schutz unter allen Umständen möglich ist. Auch dann noch aber, wenn der eingewanderte Europäer sich mit allen seinen Lebensgewohnheiten dem Klima angepasst hat, ist er noch nicht gefeit gegen Angriffe spezifisch tropischer Infektionskrankheiten. Die meteorologische Akklimatisation ist immer erreichbar, die pathologische weit weniger leicht, zumal da auch langer, in relativem Wohlsein verbrachter Auf-

enthalt in der heissen Zone noch keine Bürgschaft gegen plötzliche Erkrankung leistet.

Es lässt sich dies schon der Thatsache entnehmen, dass auch die Eingeborenen selbst nichts weniger als immun gegen die endemischen Seuchen sind. Gewiss gibt es widerstandsfähigere und minder widerstandsfähige Rassen; die Chinesen beispielsweise besitzen entschieden nicht so viel Empfänglichkeit gegen das Tropenfieber, wie die Weissen, aber die Empfänglichkeit anderer farbiger Rassen ist nach Buschan [40] doch wiederum eine grössere. Südchinesische Kulis sind überall in tropischen und subtropischen Gebieten wegen ihrer Leistungsfähigkeit als Arbeiter gesucht, aber viele müssen gleichwohl in den Tabakpflanzungen Sumátras, in den Zuckerplantagen der Maskarenen dem ungesunden Klima ihren Zoll abtragen. Sonnenstich und Hitzschlag sind zwei Krankheitsursachen, deren Ursprung rein klimatisch, nämlich durch die ungewohnt starke Bestrahlung, bedingt ist [41]; kennt man diese Zufälle doch auch bei uns nur zu gut, wenn Erntearbeiten und Märsche bei grosser Sommerhitze vorgenommen werden müssen. Geeigneter Kopfschutz, der sich auch auf den Nacken erstreckt, verhindert die bis zu jähem Tode sich steigernde Blutüberfüllung des Gehirnes, und der von den englischen Kriegern zuerst als praktisch befundene Tropenhelm hat allenthalben Nachahmung gefunden. Strenge Regulierung der Kleidung, Enthaltsamkeit in jeder Art sinnlicher Genüsse, Vermeidung langen Verweilens in der Sonnenglut helfen gleichfalls die klimatische Anpassung leichter herbeiführen, und vor allem darf ein Europäer nun und nimmer daran denken, schwere Arbeit im Freien auszuführen. Gegen jene nervöse Ueberreizung, welche als Tropenkoller bezeichnet wird und sonst rechtlich denkende Menschen zur Verübung der grössten Niederträchtigkeiten verleiten kann, gewährt ein geregeltes Leben jedenfalls die zuverlässigste Sicherung. Und glücklicherweise gibt es auch unter den eigentlichen Tropenkrankheiten manche, der die Kunst des Arztes erfolgreich beizukommen vermag. Eine kurze Uebersicht über diese verschiedenen Beeinträchtigungen des Gesundheitsstandes darf hier nicht fehlen.

Ein spezifischer Magendarmkatarrh [42] und eine sehr heftige Dysenterie (Ruhr) kommen häufig genug vor; jenseits des 40. Parallels verliert die letztere ihre schlimme Eigenart [43]. Die nirgendwo im tropischen Afrika fehlende Zehenerkrankung Ainhum, die Aphthae tropicae, welche mit Entzündung der Mund- und Rachenhöhle anfangen, später jedoch ein unheilbares Allgemeinsiechtum bewirken, die Beriberi (s. o.), die zu ungeheuerlichen Gliedermissbildungen führende Elephantiasis, gewisse Geistesstörungen, wie Latah, Amok (bei den Malayen), Mataglap gehören in die hier gemeinte Kategorie [44], und ebenso treten Hautkrankheiten in allen möglichen Varietäten auf, wie die Yaws, die nur in Hindostan zu fehlen scheinen, der nach der bekannten javanischen Küsteninsel so benannte Madurafuss [45], der Guineawurm, der Rote Hund, der allerdings in Brasilien nur als ungefährliche Eingewöhnungskrankheit aufgefasst wird [46], und manches Uebel von geringerem Verbreitungsbezirke.

Zu den gefährlichsten Feinden des Menschen zählt ohne Frage das gelbe Fieber, welches die Neuspanier zutreffender das schwarze Erbrechen („Vomito nero“) benennen. Es ist in den mexikanischen Golfhäfen, vorab in Veracruz und Campeche zu Hause, wird aber durch Schiffe weithin verschleppt, so dass Charleston im Norden und Santos im Süden die Grenzen seines Wütens markieren, New Orleans aber sogar als eine der schlimmsten Brutstätten verschrieen ist; manchmal betrachtet man auch die Antillen als Heimat der verheerenden Seuche. Heinemann hat sich übrigens auf Grund langjähriger Erfahrungen die Ansicht gebildet [47], dass auch in der Tierra caliente Mexikos die Wahrscheinlichkeit, am gelben Fieber zu erkranken, nicht so sehr gross, und dass auch durch rationelle Behandlung etwas dagegen auszurichten sei.

Alle diese Krankheiten, deren Auswahl gewiss eine reichhaltige ist, treten aber an Bedeutung zurück gegen die eine, welche — selbst wieder in proteusartiger Vielgestaltigkeit — es der weissen Rasse am hartnäckigsten verwehrt, festen Fuss unter dem Tropenhimmel zu fassen. Ihr muss, dieser ihrer souveränen Bedeutung entsprechend, ein besonderer Abschnitt eingeräumt werden.

§. 3. Die Malaria. Jene Krankheitsform, welche als Wechselfieber auch in sumpfigen Strichen der gemässigten Erdgürtel nicht

unbekannt ist und darin ihr auszeichnendes Merkmal erkennen lässt, dass nach längerem Fieberstadium periodisch ein Zustand der Remission, mit fast vollkommenem Gesundheitsgefühle, sich einstellt, führt in tropischen und subtropischen Ländern den Namen der Malaria (mala aria, ital. = schlechte Luft). Italien, welches die charakteristische Bezeichnung für die Krankheit hergab, gehört zu den stärkst verseuchten Staaten; indessen sind die direkt letalen Manifestationen in den Subtropen nicht so häufig, wie innerhalb des eigentlichen Tropengürtels.

Einer von Torelli [48] hergestellten Uebersichtskarte zufolge herrscht „Malaria debole" in 13, „Malaria grave" in 29, „Malaria gravissima" in 21 Provinzen, und nur deren sechs (Genua, Florenz, Porto Maurizio, Massa-Cassara, Pesaro und Piacenza) dürfen als völlig unverseucht gelten. Am schwersten sind die Maremmen Toscanas und die pontinischen Sümpfe betroffen, gegen deren mephitische Exhalationen das antike Rom so wenig wie die Päpste und das königliche Italien einen durchschlagenden Erfolg zu erzielen im stande waren, so dass sich die dortige Bevölkerung noch immer in einem kläglichen Zustande befindet [49]. Wenn es an anderen Orten etwas besser geworden, wenn z. B. das Campagna-Kloster Certosa und das Kamaldulenser-Kloster bei Tivoli bewohnbar gemacht und manches Eisenbahnstationsgebäude wieder benützbar geworden ist, so soll dies das Verdienst der Anpflanzung gewisser angeblich antifebriler Baumarten — Eucalyptus globulus und Eucalyptus amygdalina — sein. Diese Bäume, mit deren sanitärer Wirkung sich v. Hamm [50] eingehend beschäftigt hat, stammen aus Australien; die österreichische Regierung soll mit ihren Versuchen, dieselben in Istrien und auf den Quarnero-Inseln heimisch zu machen, recht zufrieden gewesen sein. Es wäre der apenninischen Halbinsel die Befreiung von dieser Landplage um so mehr zu wünschen, da auch sonst dortselbst in sanitärer Beziehung manches zu wünschen übrig bleibt, wie dies die berüchtigte Hautkrankheit Pellagra in den lombardischen Reisbaudistrikten beweist.

Ueber die Natur der Malaria war man, als Hirsch über sie schrieb [51], noch sehr wenig unterrichtet. Man hielt dafür [52], dass in der Nähe von Sümpfen, Altwassern, stagnierenden Gewässern, die Miasmengefahr eine besonders grosse sei, und irrte damit auch nicht gerade, obwohl es nicht statthaft wäre, sich diese Krankheit bloss als ein Sumpffieber zu denken. Heute sind wir, namentlich durch die Studien italienischer Forscher, welche L. Martin [53] bei seinen Landsleuten bekannt gemacht und durch seine eigenen Untersuchungen ergänzt hat, in der Aetiologie (αἰτία, Grund) der Malaria ein gutes Stück vorwärts gekommen; wir wissen, dass Laveran [54] und Mannaberg [55], welche die mikroskopische Prüfung des Krankheitserregers am meisten gefördert haben, als solche gewisse Plasmodien, tierische Parasiten, erkannt haben, deren Eruierung freilich oft mit sehr grossen Schwierigkeiten verknüpft erscheint. Bei leichteren Malariafällen ist der Parasit eine abgeplattete Zelle, die aber rasch ihre Gestalt verändern, sogenannte „Geisselfäden" hervorstrecken und diese auch wohl gänzlich abstossen kann. Beim quartanen und tertianen Fieber, wenn also bezüglich die eigentliche Fieberzeit je am vierten oder dritten Tage einsetzt, ist der Prozess der Plasmodienbildung nicht völlig der gleiche, und bei der perniciösen (Verderben bringenden) Form der Krankheit treten noch weitere, halbmondförmige Körperchen hinzu. Im ganzen sind fünf parasitäre Gebilde unterschieden worden, welche auch unter sich Kombinationen eingehen können.

Auch die Therapie (Heilbehandlung) erzielt verschiedene Erfolge, je nachdem sie Plasmodien der einen oder anderen Art vor sich hat. Manche derselben

sind durch eine verständige Dosierung von Chinin leicht zu vernichten; dieses Heilmittel, bekanntlich das Alkaloid der am Ostabhange der Kordilleren gesammelten China-Rinde, hat sich noch immer als das wirksamste Antidot (Gegenmittel) gegen tropische Fieber bewährt. Gewisse Malariaparasiten freilich halten auch gegen das Chinin stand, vermehren sich und bringen so schliesslich eine Sepsis (Blutvergiftung) zuwege, in deren späterem Verlaufe die roten Blutkörperchen zerstört werden, so dass schliesslich die Patienten der hochgradigen Anämie (Blutleere) erliegen müssen. Die Malaria trägt in sich die schlimme Eigenschaft, gewöhnlich Rückfälle zu veranlassen, und während es sonst als Regel gilt, dass die Krankheit, welche einen Menschen mehrfach befällt, schwächer auftritt, weil der bereits durchseuchte Körper einen weniger günstigen Nährboden (s. o.) abgibt, verhält es sich hier umgekehrt: Intensität und Gefährlichkeit pflegen bei jeder Wiederholung zuzunehmen.

Nicht alle Tropenländer haben gleich stark unter der Malaria zu leiden, doch fehlt sie gänzlich nur in wenigen Fällen. Als so gut wie immun gilt die Tierra fria (S. 303) Zentralamerikas, während die Tierra caliente überaus ungesund ist; den Preis in letzterer Hinsicht trägt die Landenge von Darien davon, wo die klimatische Lage die Widerstandskraft am meisten lähmt, insofern hier nach Köppen [56] die Temperatur aller Monate fast vollkommen gleichförmig ist. Auch Wüsten und Hochgebirge können in der Hauptsache als malariafrei angesprochen werden [57], So ist der Tazo, das madagassische Klimafieber, an der mit pflanzlichem Detritus bedeckten Küste weit mehr als auf dem kühleren Hochplateau des Inneren zu fürchten [58]. Afrikas Westküste ist die Heimstätte sehr schlimmer Remissions- und Gallenfieber, welche sich dem allgemeinen Malaria-Typus unterordnen lassen; zumal die langwährende Regenzeit Senegambiens schildert Borius [59] als höchst nachteilig, und in Guinea herrscht vielfach das fast immer tödliche Schwarzwasserfieber. Etwas besser steht es um Kamerun; doch gibt es auch dort eine Malaria, mit deren Besonderheiten uns Plehn [60] bekannt gemacht hat.

Da, wie wir gesehen haben, durch Medizinieren zwar zum öfteren eine Zurückdrängung, selten aber eine dauernde Beseitigung der Malaria zu erzielen ist, so bleibt als relativ sicherstes Mittel nur das übrig, schleunigst das ungastliche Land zu verlassen. Selbst dann noch aber kann die Krankheit jahrelang recidivieren. Mit der Anlage von Gesundheitsstationen wurden ungleiche Erfahrungen gemacht. Da, wo man höhere Gebirge zur Verfügung hat, eignen sich dieselben gewiss zur Errichtung von Höhensanatorien, insonderheit dann, wenn das Gebirge bereits der eigentlichen Tropenzone entrückt ist. So hat Britisch-Indien in den Ghats, weit mehr aber noch im Himálaya (Dardjeeling, Simla), Rekonvaleszentenheime mit gutem Erfolge begründet; der Kongostaat hingegen hat mit seinem Sanatorium in Boma entschiedenes Unglück gehabt [61]. — Wichtig ist es natürlich auch, Wohnstätten so anzulegen, dass die herrschende Windrichtung nicht über Sümpfe, Mangrovewildnisse u. s. w. hinwegführt; auch sieht man jetzt sorgfältig darauf, dass zwischen dem untersten Boden eines Hauses und dem Erdboden ein freier Raum verbleibt, und errichtet ersteres auf Pfosten oder Säulen.

Bis zur Stunde gilt für die Tropenwelt, und zwar in erster Linie für Afrika, der Satz: Je gesunder eine Gegend ist, um so unfruchtbarer ist sie, und umgekehrt. Ob der Kulturfortschritt, wie ihn die Ansiedlung tüchtiger europäischer Ansiedler unzweifelhaft mit sich bringt, auch in sanitärer Beziehung Wandel schaffen wird, wie dies M. Buchner [62] wenigstens nicht für unmöglich erachtet, das bleibt einstweilen eine offene Frage. Die bisherigen Erfahrungen

gestatten noch keine definitiven Urteile über die Fundamentalbedingung gedeihlicher Kolonisationsarbeit.

§. 4. **Höhenklima und Höhenkrankheit.** Auf ein ganz anderes pathologisches Gebiet sehen wir uns geführt, sobald wir die Wirkungen des Höhenklimas in Betracht ziehen. In Kap. VII, §. 11 wurde gezeigt, dass zwischen den klimatischen Verhältnissen der Tief- und Hochländer die mannigfachsten Verschiedenheiten obwalten, und es kann nicht wunder nehmen, dass dieselben sich auch in den gesundheitlichen Zuständen wiederspiegeln. Dann, wenn die Erhebung über dem Meeresspiegel direkt pathologische Erscheinungen im Gefolge hat, sprechen wir von der Höhen- oder Bergkrankheit (Mal des Montagnes in den Westalpen; Bitsch ki Haua in Hochasien; Soroche, Puna, Mareo in den Anden). Eine ältere Spezialschrift darüber hat man von Meyer-Ahrens, eine neuere, sehr inhaltsreiche von G. v. Liebig [63]; ausserdem ist die Höhenkrankheit auch in dem ein noch allgemeineres Ziel anstrebenden Werke des berühmten Physiologen Bert [64] mit mehreren, viele neue Thatsachen enthaltenden Kapiteln bedacht worden.

Die ersten brauchbaren Nachrichten über Zufälle, welche den Bergsteiger treffen, verdankt man Saussure [65], obwohl v. Liebigs Darlegung [66] zufolge gelegentlich auch schon früher auf die Erscheinung hingewiesen wurde. So konnte der scharfblickende D'Acosta (I, S. 13, 16), als er die Anden übersteigen musste, wohl nicht umhin, an sich selbst Beobachtungen über die Einwirkung grosser Höhen zu machen. A. v. Haller, selbst ein geschulter Gebirgstourist, versuchte [67] von den ihm bekannt gewordenen Thatsachen physiologisch Rechenschaft zu geben, allein da er nur die mechanischen Konsequenzen der Luftdruckverminderung kannte, musste sein Erklärungsversuch ungenügend ausfallen. Als das in gewissem Sinne klassische Land der Höhenkrankheit muss die Hochregion der Kordilleren betrachtet werden, und hier konnten hervorragende Reisende, wie Pöppig [68] und v. Tschudi [69], eigene Studien machen, durch welche die Aufmerksamkeit der europäischen Gelehrten erst wieder auf eines der merkwürdigsten Gebiete der medizinischen Klimatologie hingelenkt ward; die hohe, noch nicht allseitig genug anerkannte Bedeutung Pöppigs als unübertroffenen Naturschilderers [70] spricht sich gerade auch in seinen Mitteilungen über den Soroche aus.

Auch Tiere unterliegen der nachteiligen Wirkung des Höhenklimas. Von Maultieren, Pferden, Ochsen, Kamelen, Hunden liegen derartige Wahrnehmungen vor, und besonders schwer sollen Katzen sich den veränderten Verhältnissen anpassen [71]. Einen überaus merkwürdigen Fall von einem Hündchen erzählt Widmann [72]; doch erscheint es da nicht ganz sicher, ob echte Höhenkrankheit und nicht vielleicht bloss Erschütterung des Nervensystemes durch einen plötzlichen Schwindelanfall die massgebende Ursache war. Ueber den thatsächlichen Befund bei Höhenerkrankung spricht sich besonders Hirsch [73] einlässlich aus.

Manchmal wird, wenn von dem Phänomene der Bergkrankheit gesprochen wird, zu wenig darauf geachtet, dass sich sehr oft zwei ganz verschiedene Erscheinungskomplexe durchdringen. Die Notwendigkeit scharfer Trennung betont Viault [74] zutreffend mit grosser Entschiedenheit. Der Steigende hat an sich schon die Uebelstände zu überwinden, welche durch die Aufwendung erhöhter Muskelkraft bei progressiver Luftverdünnung sich ergeben; daneben aber gehen auch noch Gesundheitsstörungen her, welche von gewisser Höhe ab auch dann nicht verschwinden, wenn der vollkommensten Ruhe gehuldigt wird. Ein gutes Hilfsmittel der Scheidung gewähren uns die Ballonfahrten, welche den Menschen, ohne dass er sich irgendwie anzustrengen brauchte, schnell in gewaltige Höhen (bis zu 9000 m;

S. 84) emporführen. Hann führt verschiedene Belege dafür an, dass Luftschiffer in namhaften Höhen unangenehme und selbst lebensgefährliche Zufälle erlitten [75], und zieht hieraus den Schluss: „Dass die Bergkrankheit nicht bloss eine Folge der Anstrengungen beim Bergsteigen ist, dafür haben wir jetzt viele Beweise.“ Es wird mithin angebracht sein, die beiden grundsätzlich und ursächlich verschiedenen Gesundheitsstörungen auch gesondert ins Auge zu fassen.

Als die Gebrüder Weber anlässlich ihrer bahnbrechenden Untersuchungen über die Anatomie und Physik der menschlichen Gehwerkzeuge gefunden hatten [76], dass das Bein in der Hüftgelenkpfanne nicht nur durch die Gelenkbänder, sondern auch durch den von allen Seiten wirkenden Luftdruck erhalten werde, nahm man an, bei vermindertem Luftdruck — oben auf dem Montblanc steht durchschnittlich (vgl. Kap. II, §. 8) das Barometer auf 430 mm — müssten die Bänder eine verstärkte Thätigkeit ausüben, und damit sei der eigentliche Grund der Er- und Uebermüdung gefunden. Die Experimente Berts [77] belehren uns aber darüber, dass eine wirkliche Lockerung der Bänder erst bei einem noch viel niedrigeren Luftdrucke sich zu zeigen beginnt, und der Physiker Tyndall, der selbst die grössten und gewagtesten Hochtouren im Schweizer Gebirge ausführte, überzeugte sich durch Selbstbeobachtung [78], dass die Bewegung des Beines in verschiedenen Höhen gleich leicht erfolge. Daran jedoch, dass der verminderte Luftdruck den Atmungsprozess ungünstig beeinflusst, ist nach Pravaz [79] unstreitig etwas Wahres. Zuverlässige Originalberichte, wie es in ungewöhnlich grossen Höhen zugeht, sind leider nicht zahlreich, und deshalb sind die Angaben von H. Schlagintweit [80], Whymper [81] und Güssfeldt [82] äusserst wertvoll für die, welche sich in niedrigeren Regionen bewegen müssen. Letzterer konnte bei Ersteigung des Maipo (5400 m), abgesehen von ungewöhnlich bleicher Gesichtsfarbe, nichts Auffälliges konstatieren; als er aber auch dem Aconcagua (I, S. 402) zu Leibe ging, überfiel ihn in der Höhe von 6000 m Schmerz im Oberschenkel, verbunden mit lähmender Kurzatmigkeit, so dass er sich nur Erleichterung verschaffen konnte, wenn er sich in kürzeren Pausen auf die Schneefläche warf, den Mund dicht an den Boden hielt und röchelte. Eigentliche Dyspnöe (Atemnot) stellte sich erst bei 6560 m Höhe ein und machte die Erklimmung des höchsten Gipfels unmöglich. Austreten von Blut aus Nase oder Mund kam nicht vor. Uebrigens wirkt ein subjektives und wohl auch ein lokales Moment mit, denn es sind Fälle bekannt, in denen eine Höhe von 6700 m ohne Beschwerde erreicht ward. Neben der Muskelüberanstrengung macht sich, wie v. Liebigs Versuche [83] darthun, zweifellos auch der Umstand geltend, dass die Lungenkapazität bei stärkerer Druckverminderung abnimmt, wodurch die Arbeit des Atemholens erschwert wird. Geeignete Lungentrainierung kann grosse Erleichterung bewirken. Einstweilen halten wir also daran fest, dass, je nach Umständen, den Bergwanderer in grosser Höhe ein Unbehagen überfällt, welches einige Aehnlichkeit mit der bekannten Seekrankheit hat und deshalb eben (s. o.) in gewissen Teilen Südamerikas kurzweg mit diesem Namen (Mareo) belegt wird.

Die Bergkrankheit im engeren Sinne scheint nach Viault (s. o.), Jourdanet [84] und Bouchut [85] hauptsächlich auf Sauerstoffmangel zurückgeführt werden zu müssen, an den sich allerdings viele Menschen einigermassen gewöhnen können, andere aber wieder nicht, so dass die berühmten Bergbahnen Perus nur ganz besonders erprobte Bedienstete verwenden konnten. Dass die allzu energische Verbrennung nebenher noch septische Zustände im Blute zuwege bringen kann, wird sich gleichfalls nicht bestreiten lassen, allein die Hauptsache bleibt doch (S. 15), dass schon in 2000 m Höhe der atmosphärische Sauerstoffgehalt auf 50, in 6000 m Höhe auf 9,6% herabgesunken ist. Die Menge der roten Blutkörperchen wird zu gering, aber das Einatmen reinen Sauerstoffes oder auch nur einer sauerstoffreicheren Luftmischung bringt Blut und Herzthätigkeit wieder in Ordnung [86]. Bei allzu geringem Drucke nimmt die Absorptionskraft des Blutes für Sauerstoff derart ab, dass Anämie eintritt; die parallel gehende Schläfrigkeit erklärt sich nach Lortet [87] dadurch, dass die Blutflüssigkeit ihren Kohlensäuregehalt nach wie vor beibehält; jetzt, da ihm nicht mehr die richtige Quantität der Lebensluft beigemengt ist, bewirkt er leichte Vergiftungserscheinungen. „Auch Prof. C. F. Ray kommt zu dem Schlusse, dass alle Symptome der Bergkrankheit auf Asphyxie zurückgeführt werden können, auf die Verminde-

rung des Sauerstoffes, der den Geweben zugeführt wird" [88]. Die elastische Spannung, welche nach Fränkel-Geppert [89] und v. Liebig [90] das Lungengewebe bei verringertem Luftdrucke stärker in Anspruch nimmt, wird auch nicht unterschätzt werden dürfen.

Wir sehen uns nunmehr zur Ziehung eines Schlussfazits befähigt. Der Bergsteiger leidet, neben der stets wachsenden Muskelermüdung, von einem gewisssen — nicht für alle Menschen gleichen — Niveau ab an stärkerer Spannung der Wandungen der Respirationsorgane und ganz besonders an Sauerstoffmangel. Letzterer für sich allein ist die Ursache der Bergkrankheit. Der Bergbewohner selbst unterliegt letzterer wenig oder gar nicht, weil sein Organismus vom Lebensanfange an sich den Bedingungen der Umwelt anpassen musste. Auch hat die Natur dafür gesorgt, dass bei denjenigen, welche in grossen Höhen zu leben genötigt sind, mit der Zeit das Gleichgewicht zwischen roten und weissen Blutteilchen sich wieder erneuert, und wer der Höhenkrankheit einige Zeit mutig getrotzt hat, dem eröffnet sich begründete Aussicht, als Sieger aus dem Kampfe des Organismus mit der veränderten Atmosphäre hervorzugehen.

§. 5. **Klimatische Kurorte.** Dass es gut sei, Leidenden einen anderen Aufenthaltsort mit vorteilhafteren klimatischen Lebensbedingungen anzuweisen, haben schon die Alten gewusst. So empfahlen Celsus, Aretaeus und Galenus, wie Hirschberg [91] hervorhebt, Aegypten als ein Land günstiger Heilwirkung für die verschiedensten Gebreste; ersterer hielt insbesondere auch die Seefahrt selbst für sehr wohlthätig [92]; „ideoque aptissime Alexandriam ex Italia itur". Auch im Mittelalter finden wir gelegentlich solch richtige Einsicht, und die Neuzeit bildete dieselbe systematisch aus, wofür ein interessantes Buch von Gregory [93] zum Beweise dienen kann. In dem Maſse, wie auch die allgemeine Balneologie, die Lehre von den Heilbädern, sich wissenschaftlich gestaltete und abrundete, erforschte man auch allseitiger den Nutzen solcher Oertlichkeiten, welche, ohne besondere Trinkquellen oder Badegelegenheiten aufzuweisen, Heilerfolge erwarten lassen, in erster Reihe bei Krankheiten der Hals- und Brustorgane, nächstdem aber auch bei anderen Leiden. Solche Plätze hat man sich als klimatische Kurorte zu bezeichnen gewöhnt.

Die Klimatotherapie, um deren Ausbildung sich u. a. Biedermann, Niemeyer, Beneke, Oertel grosse Verdienste erworben haben, bestimmt, welche Art von Klima dem erkrankten Menschen im Einzelfalle anzuraten sei. Mühry [94] beschäftigt sich mit ihr mehr unter dem meteorologischen, Kisch [95] mehr unter dem medizinischen Gesichtspunkte. Zahlreiche Anregungen schliesst auch das uns bereits bekannte Werk von Hirsch (s. o.) in sich, welches den individualisierenden Standpunkt gegen die z. B. von Foissac [96] vertretenen, zu weit gehenden Verallgemeinerungen verteidigt. Man kann mit Kisch die Kurorte in solche für den Sommer und für den Winter, beziehungsweise auch in feuchte und trockene einteilen [97]; auch Thomas, der den Gegenstand strenge klimatologisch behandelt, schlägt eine therapeutische Klassifikation der Klimate nach der Luftfeuchtigkeit vor [98], und viele einschlägige Anhaltspunkte trifft man ferner in den Schriften K. Hallers [99] und v. Liebigs [100] an. Das viel genannte Nilland, welches als Steigerung der von Meran, Bozen-Gries, von der Riviera und Algerien gebotenen Vorteile zu gelten pflegt, empfiehlt Hirschberg [101], hauptsächlich der dort selbstverständlichen raschen Verdunstung halber, als Zufluchtsort für Lungen- und Nierenleidende, sowie auch für Rheumatische. Das

Seeklima, welches nach Umständen ein trockenes, mittelfeuchtes und feuchtes sein kann [102], soll anregend wirken und den Stoffwechsel fördern; letzteres ist auch der Zweck des Höhenklimas, unter dessen Herrschaft die Aktion der Haut vermehrt, die Blutbildung erleichtert wird [103]. Auch in diesem Falle ist, wie Volland nachwies [104], die klimatische Evaporationskraft von besonderer Wichtigkeit. In der spezifischen Heilwirkung auf Nervenleiden konkurriert mit der dünnen Höhenluft erfolgreich die mit Salzteilchen geschwängerte, erfrischende Atmosphäre der Meeresküste. Dass es auch eine Hygiene des Waldes und infolgedessen auch Waldheilstätten geben kann, welche sich durch ihre staub- und bakterienfreie Luft auszeichnen, versteht sich von selbst; unsere früheren Ausführungen (S. 288) über die klimatische Bedeutung der Forste werden durch die spezielleren Erörterungen van Bebbers [105] noch bekräftigt.

Die Aufgabe des Klimatologen, der einen gegebenen Erdort auf seine Eigenschaft als klimatischen Kurort prüfen will, besteht vornämlich darin, die als besonders einflussreich erkannten Faktoren — Windrichtungen, Temperaturverhältnisse, Verdunstung, Sonnenschein- und Frostdauer — an der Hand der für die allgemeine Klimakunde aufgestellten Vorschriften (Kap. VII, §. 2) tabellarisch und graphisch zu erforschen. Zeichnung von Windrosen (Kap. II, §. 17) wird ihm sein Geschäft wesentlich erleichtern, wie dies seiner Zeit für einen skandinavischen Badeort (S. 307) erwähnt werden musste. In neuerer Zeit hat man noch auf einen anscheinend sekundären, unter Umständen jedoch nichts weniger denn gleichgültigen Punkt sein Augenmerk gerichtet: Ein klimatischer Kurort im Gebirge darf nicht so gelegen sein, dass vorliegende Berge ihm das Sonnenlicht zu einer Zeit rauben, zu welcher sonst den Kurgästen noch freier Aufenthalt in der Luft gesichert wäre.

Mathematisch suchte aus der Richtung eines Gebirgszuges Adam [106] die Dauer der täglichen Besonnung herzuleiten. Ungleich erschöpfender hat die Gesamtheit der verwandten Probleme Peucker [107] abgehandelt, indem er ein Verfahren angab, den Beitrag der Jahresdauer einer Bergbeschattung durch Zentralprojektion des Bergprofiles auf die sphärische Fläche der Jahressonnenbahn (an der scheinbaren Himmelskugel) darzustellen. Wenn man so vergleicht [108], um wie viel länger am Tage und im Jahre je eine auf der Nord- und Südseite eines wesentlich dem Parallelkreise folgenden Gebirgszuges gelegene Ortschaft Sonnenschein zu geniessen hat, erscheint auch die klimatologische Bedeutung des Gebirges in ganz neuem Lichte.

[1] van Bebber, Hygienische Meteorologie, für Aerzte und Naturforscher, Stuttgart 1895. — [2] Hoh, Die Physik in der Medizin, Stuttgart 1875. — [3] van Bebber, S. 32 ff. — [4] Hoh, S. 346 ff. — [5] van Bebber, S. 43. — [6] Hoh, S. 303. — [7] Ramazzini, De morbis artificum diatribe, Utrecht 1703. — [8] Geigel-Hirt-Merkel, Handbuch der öffentlichen Gesundheitspflege und der Gewerbekrankheiten, Leipzig 1874, S. 383 ff., 471 ff. — [9] Die Physik des täglichen Lebens, Stuttgart 1875, S. 379 ff. — [10] van Bebber, S. 60. — [11] Höfler, Der Föhn vom ärztlichen Standpunkte, Nürnberg 1893. — [12] van Bebber, S. 217 ff. — [13] Ripperger, Die Influenza, München 1892. — [14] C. Lang, Eine Studie über Witterung und Influenza, A., XLV, Nr. 4—5; W., 1892, S. 73 ff. — [15] W. Meier, Erinnerungen ans den Feldzügen 1806—1815, Karlsruhe 1854. — [16] Malling-Hansen, Ueber die Periodizität im Gewichte der Kinder, Kopenhagen 1883; Perioden im Gewichte der Kinder und in der Sonnenwärme, ebenda 1886. — [17] C. Voit, Ueber die Nahrung in verschiedenen Klimaten, A. A., XXIII, S. 467 ff. — [18] Ratzel, Anthropogeographie oder Grundzüge der Anwendung der Erdkunde auf die Geschichte, I, Stuttgart 1882, S. 314. — [19] van Bebber, S. 296. — [20] Herrick-Hammond, Europeans and their Dependants in North America, New York 1869. — [21] E. Reich, Studien über die Volksseele unter dem Gesichtspunkte der Physiologie und der Hygiene, Jena 1879, S. 61 ff. — [22] A. Hirsch, Handbuch der historisch-geographischen Krankheitslehre, Erlangen 1860—64. — [23] Heidenschreider, Versuch einer medizinischen Topographie des Landgerichtsbezirkes Herrieden, Erlangen 1854, S. 11. — [24] L. Heim, Lehrbuch der bakteriologischen Untersuchung und Diagnostik, Stuttgart 1894. — [25] van Bebber, S. 60 ff. — [26] Hirsch a. a. O., I, S. 60 ff. — [27] Ebenda, I, S. 599 ff. — [28] Hecker-A. Hirsch, Die grossen Volkskrankheiten des Mittelalters, Berlin 1865. — [29] van Bebber, S. 62. — [30] Hann, Handbuch der Klimatologie, III, Stuttgart 1897, S. 505. — [31] van Bebber, S. 321 ff. -- [32] Die Nordpolreisen Adolf Erik v. Nordenskiölds 1858 bis 1879, Leipzig 1880, a. v. St.; Die wissenschaftlichen Ergebnisse der Vega-Expedition, Leipzig, s. a. O., S. 29. — [33] Schellong, Die Klimatologie der Tropen, I, Berlin 1893. — [34] Felkin, On the

Geographical Distribution of Tropical Diseases in Afrika, Edinburgh 1895. — [35] Däubler, Die französische und niederländische Tropenhygiene, Berlin 1896. — [36] Däubler, Die Tropenpathologie, G. Z., II, S. 617 ff. — [37] van Bebber, S. 276 ff. — [38] D. K. Z., 1886, S. 533 ff. — [39] Virchow, Ueber Akklimatisation, V. G. A. E. B., 1885, S. 202 ff. — [40] Buschan, Einfluss der Rasse auf die Form und Häufigkeit pathologischer Veränderungen, Gl., LVII, S. 61. — [41] van Bebber, S. 138, 277, 310. — [42] Däubler, a. a. O., S. 620. — [43] van Bebber, S. 285. — [44] Däubler, S. 624 ff. — [45] van Bebber, S. 292. — [46] Bolle, Beitrag zum Thema der Akklimatisation in Tropenländern, D. K. Z., 1886, S. 623. — [47] Heinemann, Ueber Tropenklima und Akklimatisation der Europäer in Tropengegenden nach in Mexiko gemachten Erfahrungen, ebenda, 1886, S. 614 ff. — [48] Torelli, Carta della malaria dell' Italia, Florenz 1882. — [49] Gagliardi, In der römischen Wildnis, Na., XV, Nr. 44. — [50] v. Hamm, Der Fieberheilbaum oder Blaugummibaum, dessen Anbau und seine Eigenschaft der Gesundmachung von Sumpfländereien, Wien 1876. — [51] Hirsch, I, S. 5 ff. — [52] Ebenda, I, S. 54 ff. — [53] L. Martin, Aerztliche Erfahrungen über die Malaria der Tropenländer, München 1889. — [54] Laveran, Nature parasitaire des accidents de l'impaludisme, Paris 1881. — [55] Mannaberg, Die Malariaparasiten, Wien 1893. — [56] Köppen, Ueber das Kima von Mittelamerika, G. Z., II, S. 434. — [57] Hann, a. a. O., I, S. 82. — [58] Jörgensen, Bemerkungen über Madagaskar und sein Klima, D. K. Z., 1886, S. 569. — [59] Borius, Les maladies du Sénégal, Paris 1882; Z. ö. G. M., XI, S. 373 ff. — [60] Plehn, Die tropische Malaria in Kamerun, Berlin 1896. — [61] Nipperdey, Klima, Sanitätswesen und Hygiene am Kongo, D. K. Z., 1886, S. 577. — [62] M. Buchner, Klima und Hygiene in Afrika und in Tropenländern überhaupt, ebenda 1886, S. 561 ff. — [63] Meyer-Ahrens, Die Bergkrankheit, Leipzig 1854; G. v. Liebig, Die Bergkrankheit, Braunschweig 1896. — [64] P. Bert, La pression atmosphérique, Paris 1878. — [65] Saussure-De Mechel, Relation abrégée d'un voyage à la cime du Mont-Blanc en août 1787, Basel 1790, S. 9, 36. — [66] v. Liebig, S. 11 ff. — [67] A. v. Haller, Eleementa physiologiae corporis humani, Lausanne 1761, tom. III, lib. VIII, sect. 3. — [68] Pöppig, Reise in Chile, Peru und auf dem Amazonenstrom, Leipzig 1836. — [69] Tschudi, Peru; Reiseskizzen aus den Jahren 1838-42, St. Gallen 1846. — [70] Wolkenhauer, Eduard Pöppig, D. R. G. St., XX, S. 518 ff. — [71] v. Liebig, S. 5, 28. — [72] Widmann, Spaziergänge in den Alpen, Frauenfeld 1892, S. 277 ff. — [73] Hirsch, a. a. O., II, S. 624 ff. — [74] Viault, Les effets physiologiques des altitudes, B. S. C. B., (2) XVIII, S. 161 ff.; Freudenberg, Modifikation des Blutes durch die Seehöhe, A., LXVI, S. 173 ff. — [75] Hann, I, S. 224 ff. — [76] v. Liebig, S. 13. — [77] Bert, S. 358. — [78] Tyndall-G. Wiedemann, Die Gletscher der Alpen, Braunschweig 1889, S. 99. — [79] Pravaz, Essai sur l'emploi médical de l'air comprimé, Lyon-Paris 1850. — [80] H. Schlagintweit, Ueber den Einfluss der Höhe auf den menschlichen Organismus, Z. G. E. B., I, S. 332 ff. — [81] Whymper, Travels amongst the Great Andes of Ecuador, London 1892, S. 366 ff. — [82] Güssfeldt, Reisen in den Andes von Chile und Argentinien, Berlin 1888, S. 373 ff. — [83] v. Liebig, Untersuchungen über Ventilation und Erwärmung der pneumatischen Kammern, München 1869; Sauerstoffaufnahme und Muskelkraft unter verschiedenem Luftdruck, S. G. M. P. M., 1894, S. 27 ff. — [84] Jourdanet, Les altitudes de l'Amérique tropicale comparées au niveau des mers au point de vue de la constitution médicale, Paris 1861; Influence de la pression de l'air sur la vie de l'homme; climats d'altitude et climats de montagne, ebenda 1876. — [85] Bouchut, De l'influence de la pression de l'air sur la vie de l'homme, M., (2) XXXVII, S. 572 ff., 614 ff., 649 ff. — [86] v. Liebig, Die Bergkr., S. 19. — [87] Lortet, Ueber die physiologischen Zustände beim Ersteigen hoher Berge, A., XLII, S. 1009 ff. — [88] Hann, I, S. 227. — [89] Fränkel-Geppert, Die Wirkung der verdünnten Luft auf den Organismus, Berlin 1883. — [90] v. Liebig, Das Atmen unter vermindertem Luftdrucke, D. m. W., 1886, Nr. 19; Die Bergkr., S. 25. — [91] Hirschberg, Aegypten; Studien eines Augenarztes, Leipzig 1894, S. 3 ff. — [92] Celsus, De medicina, lib. III, cap. 22. — [93] Gregory, De morbis coeli mutatione medendis, Heidelberg-Leipzig 1792. — [94] Mühry, Klimatologische Untersuchungen in Bezug auf Gesundheitspflege, Leipzig 1853. — [95] Kisch, Grundriss der klinischen Balneotherapie einschliesslich der Hydrotherapie und Klimatotherapie, Wien-Leipzig 1883. — [96] Foissac-Emsmann, Meteorologie mit Rücksicht auf die Lehre vom Kosmos und über ihre Beziehungen zur Medizin und allgemeinen Gesundheitspflege, Leipzig 1859. — [97] Kisch, S. 218. — [98] Thomas, Beiträge zur allgemeinen Klimatologie, Erlangen 1873. — [99] K. Haller, Die Volkskrankheiten und ihre Abhängigkeit von Witterungseinflüssen, Wien 1860. — [100] v. Liebig, Ueber den Einfluss der Temperatur und Feuchtigkeit auf die Gesundheit, Berlin 1870. — [101] Hirschberg, S. 11. — [102] Kisch, S. 245 ff. — [103] Ebenda, S. 234. — [104] Volland, Ueber Verdunstung und Insolation; ein Beitrag zur besseren Kenntnis des Hochgebirgsklimas, Basel 1879. — [105] van Bebber, S. 254 ff. — [106] Adam, Globus; Anwendung des Globus in der astronomischen Geographie, Wien 1887, S. 54 ff. — [107] Peucker, Der Bergschatten; die Einschränkung solarklimatischer Faktoren durch ein Bergprofil und ihre graphische Ermittelung, V. d. G., 1897, S. 225 ff. — [108] Ebenda, S. 236 ff.

Sechste Abteilung.

Ozeanographie und ozeanische Physik.

Kapitel I.

Allgemeine Eigenschaften der Meere und deren Verteilung auf der Erdoberfläche.

§. 1. **Meer und Meereskunde.** Als Meer bezeichnen wir jede grössere Wasseransammlung mit Salzwasser. Dieser letztere Umstand z. B. ist entscheidend dafür, dass man von einem Kaspischen und Toten Meere spricht, während doch wieder die Konsequenz nicht so weit geht, den Elton-See, den Utah-See und Ngami-See, obwohl jeder derselben stark angesäuertes Wasser besitzt, den Meeren zuzurechnen.

Nur gelegentlich wird ein kleinerer Binnensee Meer genannt (Steinhuder Meer im niedersächsischen Flachlande). Die Mare der Eifel sollen auch (I, S. 372) diesen ihren Namen von dem lateinischen Namen für Meer haben.

Ansätze zur wissenschaftlichen Behandlung der Meereskunde bemerken wir bei den älteren griechischen und römischen Geographen, aber im Mittelalter konnte ein solcher Wissenszweig schon deshalb nicht gedeihen, weil eine Spezialvorkommnisse irrtümlich erweiternde Anschauung den Unterschied zwischen den Meeren und Binnengewässern vollständig verwischte. Erst durch Varenius (I, S. 15) und durch einige andere Schriften des XVII. Jahrhunderts wurde jene Disziplin begründet, welche jetzt den Namen Ozeanographie (ὠκέανος, Weltmeer; γράφειν, beschreiben) führt, welche aber durchaus nicht etwa einen rein deskriptiven Charakter an sich tragen, sondern zugleich das erklärende Element gebührend berücksichtigen soll, wie dies auch von Anfang an der Fall war. Als Buchtitel scheint jenes Wort zuerst Jilek [1] verwendet zu haben. Es hat vieles für sich, Ozeanographie und ozeanische Physik als Meereskunde zusammenzufassen.

Als einen jener Geographen, die ihre Studien vorwiegend auf das Meer konzentrierten, haben wir zunächst den — von Ruge [2] näher geschilderten — Chaldäer Seleucus anzuerkennen, der über den Zusammenhang der Meere und über das Gezeitenphänomen zutreffende Ansichten hegte. Später setzte sich — wie Neumann [3] richtig vermutet, durch die eigentümliche Beschaffenheit des hellenischen Karstterritoriums veranlasst — in vielen Köpfen die Ueberzeugung fest, der ganze Erdball sei mit Kanälen, Höhlungen, Adern durch-

zogen, durch welche die einzelnen Weltmeere unter sich und mit den Flüssen und Seen zusammenhingen, wie denn auch das süsse Wasser nichts als geläutertes Meerwasser sei. Man hat diese Lehre, deren Wurzeln im Alten Testamente zu suchen sind, als Schwammtheorie bezeichnet; bei der Betrachtung der Quellen (Kap. IV der achten Abteilung) werden wir darauf zurückgeführt werden und wollen hier einstweilen nur bemerken, dass Kretschmer [4] und, noch eingehender, Wisotzki [5] dieses ganz kunstgerecht ausgebildete System quellenmässig bearbeitet haben. Auch die meereskundlichen Abschnitte in Portas [6] meteorologischem Werke werden noch von dieser Vorstellung beherrscht, die auch bei Fournier noch nicht überwunden ist, wiewohl immerhin die neunte, fünfzehnte und neunzehnte Abteilung seines voluminösen Kompendiums [7] die Keime einer exakteren Behandlung der bezüglichen Fragen enthalten. Sehr verdienstvoll ist (s. u. in Kap. V) des Isaak Vossius Traktat [8] von den Meeresbewegungen, und die Kapitel 12 bis 17 im Hauptwerke des Varenius [9] enthalten jedenfalls eine erste bewusste Gesamtdarstellung der Lehre von der Hydrosphäre (ὕδωρ, Wasser) im Rahmen einer allgemeinen Erdkunde. Daneben sollen, als freilich noch unvollkommenere Versuche, die Schrift Bóteros [10], welche doch eigentlich die erste Meeresmonographie darstellt, und die Kosmographie Merulas [11] nicht vergessen werden.

Das XVIII. Jahrhundert bringt zuerst manch systematische Bereicherung durch die Werke von Marsigli [12], Popowitsch [13] und Buache [14], aber auch die maritime Detailforschung wagt sich mit Glück hervor, und des Grafen Marsigli Spezialschrift [15] über den Bosporus ist mit grossem Unrecht lange Zeit vergessen geblieben. Was ein Kant, Buffon, Bergman, G. R. Forster, Cook u. a. an neuen Thatsachen und Gesichtspunkten zu Tage gefördert, wird von Otto [16] kompendiarisch zu verwerten gesucht. Die Namen A. v. Humboldt, Borda, C. Ritter, Berghaus, Rennel, um nur ein paar aus der erfreulicherweise rasch anwachsenden Menge der Forscher herauszugreifen, lassen es begreiflich erscheinen, dass auch die didaktische Litteratur immer mehr Material zu verarbeiten bekommt. Maurys Werk [17] (vgl. S. 345) bricht nicht nur in meteorologischer Hinsicht neue Bahnen, sondern leitet eine neue Epoche der ozeanographischen Studien überhaupt ein; die mehr populären Schriften von Jilek (s. o.), Kayser [18], Gelcich [19] und v. Czerny [20] interessieren allmählich auch weitere Leserkreise für ein Fach, mit dem einigermassen vertraut zu werden, schon die Ausdehnung der Handelsbeziehungen und der Weltwirtschaft nahe legt. Von Oesterreichern wird ein stattliches Handbuch [21] geliefert, dessen auch im atmosphärologischen Teile mehrfach Erwähnung geschah, und eine sehr wertvolle Bearbeitung gewisser Partien der Meereskunde gab der Engländer J. J. Wild [22]. Auch eine Veröffentlichung [23] der deutschen Admiralität muss hier genannt werden, weil sie die praktische Seite der Meeresforschung mit besonderer Sachkenntnis zur Darstellung bringt.

Für längere Zeit wird das am häufigsten citierte, namentlich auch seiner systematischen Gliederung halber eine neue Bahn eröffnende Werk [24] dasjenige der beiden deutschen Forscher v. Boguslawski und Krümmel sein. Ein kleineres populäres Lehrbuch des letztgenannten Verfassers [25] ist nicht bloss ein Auszug aus dem erstgenannten, sondern hat demselben gegenüber den Vorzug, aus einem Gusse gefertigt zu sein. Zwei in ihrer Art sehr ansprechende Schriften [26] des Geologen J. Walther werden uns mehr noch in der achten als in dieser sechsten Abteilung zu beschäftigen haben. Sehr dankenswert sind die fortlaufenden Berichte, welche Krümmel in Wagners „Geograph. Jahrbuch" über die Fortschritte unseres Wissenszweiges erstattet. Was die nichtdeutsche Litteratur betrifft, so treten uns da besonders die Arbeiten [27] des verdienten französischen Ozeanographen Thoulet vor Augen, darunter auch dessen Handweiser [28] für Praktiker.

Durch die letzteren ist eine gewisse Zweiteilung der Meereskunde eingeleitet worden, welche ja auch schon in dem deutschen Handbuche sich äusserlich zu erkennen gibt, und wenn auch die entsprechenden Bezeichnungen früher schon gelegentlich angewendet wurden, so dürfen dieselben doch erst jetzt als Besitz weiterer Kreise angesehen werden. Wir meinen die Teilung in eine statische und in eine dynamische Ozeanographie. Erstere umfasst die Einteilung und Benennung der

Meeresräume, deren räumliche (Flächen- und Tiefen-) Verhältnisse und die Gesamtheit der das Meerwasser in ruhigem Zustande charakterisierenden Eigenschaften; die ozeanographische Dynamik behandelt die durch die verschiedensten Ursachen ausgelösten Bewegungen des ganzen Meeres oder einzelner Teile desselben. In dieser Abteilung deckt sich die Dreizahl der ersten Kapitel mit der Statik der Meereskunde, während der Dynamik das fünfte und sechste vorbehalten sind. Im sechsten Kapitel, welches das Eis des Meeres zum Objekte hat, kommen gleichmässig statische und dynamische Fragen zur Diskussion.

§. 2. **Die Nomenklatur der Meeresräume.** Ohne eine gewisse Klassifikation und zweckmässige Nomenklatur der Meeresräume würde sich Geographie überhaupt und insbesondere auch Geographie des Meeres nicht wohl treiben lassen. Gleichwohl sind hundert Jahre vergangen, seit der französische Hydrograph Fleurieu [29], „in geistvoller Weise das Problem erörternd" [30], eine einigermassen befriedigende, teilweise noch jetzt nachwirkende Einteilung schuf; was früher Varenius [31] und Struyck [32] gegeben hatten, musste sich als ungenügend erweisen. Eine blosse Betrachtung der Karte reicht nicht aus, wenn man eine morphologische Klassifikation (μορφολογία, Lehre von der Gestalt) erzielen will, wie dies die Absicht von Krümmel [33] und Wisotzki [34] gewesen ist. Hierauf soll nun etwas näher eingegangen werden.

Fleurieu wollte, insoweit es auf die Abgrenzung der Ozeane oder Weltmeere ankam, bloss deren zwei, den Atlantischen und — den von ihm weit über die uns geläufigen Grenzen ausgedehnten — Grossen Ozean anerkannt wissen, welch letzterer treffender Ausdruck auf Buache (s. o.) zurückzugehen scheint. Den selbständigen Meeren stellte er die „Mers méditerrannées", mit nur einem Eingange, und die „Mers intérieures", mit mehreren Zugangspforten, gegenüber, während tief eingreifende Binnenmeere (Hudsonsbay, Ostsee, Rotes Meer) nur als „Entonnoirs" (Trichterbildungen) zugelassen werden sollten. Die heute übliche Abgrenzung der Weltmeere wurde von einer 1845 durch die Londoner Geographische Gesellschaft niedergesetzten Kommission beschlossen [35] und durch Petermanns Karten [36] dem Publikum mundgerecht gemacht. Die beiden oben und unten offenen Ozeane, Atlantik und Pazifik, werden beziehungsweise durch die beiden Polarkreise abgegrenzt, und ebenso reicht der Indische Ozean südlich bis $66^1/_2{}^0$ s. Br. Als Meridionalgrenzen zwischen den drei Weltmeeren wurden bestimmt die Mittagskreise, welche resp. durch das Kap Hoorn (67° w. L. G.), durch das Nadelkap (20° ö. L.) und durch das Südkap der Insel Tasmanien (146° ö. L.) gezogen werden können. Inwieweit die Begriffe Nördliches und Südliches Eismeer dem, was wir gewöhnlich unter Ozean verstehen, entsprechen, müssen wir vorläufig dahingestellt sein lassen; durch Nansens Reisen ist jedenfalls so viel festgestellt worden, dass im höchsten Norden der Landanteil an der Polarkalotte ein sehr geringfügiger ist. Wenn man mit Krümmel (s. o.) als Kennzeichen der Ozeanität das aufstellen will, dass jedem Weltmeere in sich geschlossene Meereszirkulationen angehören sollen, so thun die erwähnten drei Grenzmeridiane nicht bloss einen schematischen Dienst, denn sie bilden im allgemeinen auch die Grenzlinien der Zirkulationssysteme, indem nur (s. u. in Kap. V) eine Strömung des Indischen Ozeans ein wenig den Meridian des Agulhas-Vorgebirges überschreitet.

Mit der Abgrenzung der grossen Meere hängt diejenige der Erdteile oder Kontinente (continere, enthalten) nahe zusammen. Auch über sie herrschte und herrscht noch keineswegs Einstimmigkeit unter den Geographen, wie man aus Wisotzkis lehrreichem Essay [37] „Der Begriff Kontinent" ersehen kann. Die Dreiteilung der Alten Welt in Europa, Asien und Afrika (Libya) war praktisch kaum bestritten, wenn auch die Zweiteilung von Einzelnen für sachlich richtiger gehalten wurde [38]. Das Entdeckungszeitalter fügte Amerika hinzu, und das

mystische Südland, über dessen Geschichte uns v. Wieser [39] und Ruge [40] aufgeklärt haben, erscheint, nachdem Mercator dazu die Anregung gegeben, als fünfter Erdteil in den Karten und Kompendien eines Ortelius [41] und Postellus [42], während es noch zweihundert Jahre anstehen sollte, bis das unbekannte Australia endlich mit dem auch noch wenig bekannten Neuholland identifiziert ward. An Einzelversuchen, die Fünfzahl abzuändern, hat es, wie Wisotzki an der Hand der Quellenlitteratur darthut, nicht gefehlt, wie denn namentlich Europas Daseinsberechtigung gar manche Angriffe auszuhalten hatte; C. Ritter erkannte den fünf Erdteilen diese Berechtigung auf Grund innerer und äusserer Kriterien zu [43], und es wird kaum möglich sein, diesen eisernen Bestand unseres erdkundlichen Wissens heute noch abzuändern. Allen Neuerungen auf diesem Gebiete, mögen sie auch von noch so zutreffenden Erwägungen getragen werden, ist der Satz entgegenzuhalten, dass gar oft das Bessere des Guten Feind ist.

Alle Meeresteile, welche nicht selbst den Rang von Ozeanen oder Hauptmeeren besitzen, fassen wir unter dem Namen Nebenmeere zusammen. Auch für sie lässt sich eine tiefer eingehende Klassifikation denken, so dass Meere, welche morphologisch und im Kartenbilde einen ähnlichen Eindruck machen, auch mit dem gleichen Namen bezeichnet werden. Es kommen besonders Krümmels (s. o.) und Wisotzkis (s. o.) Terminologie in Betracht; auch Supan [44] hat einige Bezeichnungen für besondere Fälle eingeführt.

Nach Krümmel unterscheiden wir die Mittelmeere, welche tief in das Innere des Festlandes einschneiden und nur spärliche Kommunikation mit den Hauptmeeren haben, von den Randmeeren, welche sich den grossen Landkomplexen anlagern, so dass eine verhältnismässig grosse Sehne das Meeressegment vom freien Meere trennt. Die Anzahl der Verbindungen zwischen Mittelmeer und Ozean ist nicht beschränkt. Die Randmeere werden als flache (Nordsee, Kanal mit Irischer See) und als tiefe (Japanisches, Ochotskisches, Berings-Meer) unterschieden; das Gelbe Meer möchte wohl den seichten Randmeeren anzugliedern sein. Wisotzki zählt als Mittelmeere erster Ordnung das Romanische, Australisch-Asiatische und Nord-Südamerikanische, als Mittelmeere zweiter Ordnung das Weisse, Rote, Baltische Meer, den Persischen Meerbusen und die Hudsonsbay auf. Supan trennt die Nebenmeere in Binnenmeere (Mittelländisches Meer) und inselabgeschlossene Meere (Mexikanischer Golf, Sunda-See), möchte aber auch noch die Durchgangsmeere, welche zwei Ozeane verbinden, als eigenen Typus festhalten. Hierin war ihm Ackermann vorangegangen, der [45] für Meerespartien wie Kattegat und Baffinsbay den Terminus Zwischenmeere in Vorschlag gebracht hatte.

Um einen noch deutlicheren Begriff von der Abgrenzung der Nebenmeere zu geben, welche übrigens in ihrer Gesamtheit nur wenig mehr denn 6% der Salzwasserfläche in Anspruch nehmen, teilen wir Krümmels Einteilung [46] hier vollständig mit:

Mittelmeere	Randmeere	
a) Interkontinentale	1. das Deutsche (die Nordsee)	a) Atlantische Gruppe
1. das Romanische	2. das Britische	
2. das Amerikanische	3. das Laurentische	
3. das Australasiatische	4. das Ostchinesische	b) Westpazifische Gruppe
4. das Arktische	5. das Japanische	
b) Intrakontinentale	6. das Ochotskische	
5. das Baltische	7. das Beringsche	
6. das Rote	8. das Kalifornische	c) Gruppe der isolierten Randmeere
7. das Persische	9. das Tasmanische	
8. Das Hudsonsche	10. das Andamanische	

Gewisse ganz und gar gebräuchliche Begriffe der geographischen Kunstsprache, welche sich auf die gegenseitigen gestaltlichen Beziehungen zwischen flüssigem und festem Elemente beziehen und zum Teile auch bei der Topographie der Binnengewässer bestehen bleiben, erheischen wohl hier keine besondere Besprechung. Man hat sie lange gebraucht, ohne sich über ihren zumeist einfachen Sinn wissenschaftliche Rechenschaft zu geben, und erst zu Beginn des XVI. Jahrhunderts begegnen wir bei Cochlaeus [47] (I, S. 14) einer schematischen Tafel für die Terminologie der Erdkunde, welche sich dann zu ungezählten Malen in den Leitfäden wiederholt. Während der mehr moderne Begriff Meeresbecken vielleicht noch der Definition bedürftig erscheinen könnte, sind Meerbusen, Golf, Bucht, Bay, Hafen, Rhede (unvollkommener Hafen, sich von demselben etwa in ähnlicher Weise, wie Randmeer vom Mittelmeer, unterscheidend), Halbinsel, Landzunge, Land- und Meerenge (Isthmus; Sund), Vorgebirge (Kap, Nase), Archipel (Inselmeer) bekannte Dinge. Wenn Forel [48] Golf und Vorgebirge klassifizieren will, so macht er eine Anleihe bei der allgemeinen Morphologie (Abt. VIII, Kap. V), und diese erst wird uns auf die Angelegenheit zurückkommen lassen. Verschiedene Namen sind für die Grenze zwischen Wasser und Land im Gebrauche [49]. Die Küste entspricht nicht einer mathematischen Linie, sondern einem schmalen, zwischen Wasser und Land streitigen Streifen; die Grenzlinie im engeren Sinne ist das Ufer (zumal bei Seen und Flüssen) und das Gestade, „während Strand für vegetationslose, in den Konturen einförmige und der See zu flach verlaufende Küsten gebraucht wird.“ — Gänzlich verzichten wir darauf, eine Insel zu definieren. Ironisch, aber wahr sagt Kant [50]: „Das Land überhaupt wird eingeteilt in das feste Land und in die Inseln, obgleich jenes auch nichts anderes ist als eine grosse Insel, von deren Grenzen man nur eine dunkle Idee hat.“ Aeltere Bemühungen um schärfere Begriffsbestimmung, deren Wisotzki [51] gedenkt, konnten zu keinem Ziele führen. So wenig die Geometrie das Wesen der geraden Linie, ebensowenig kann die Geographie dasjenige einer Insel angeben; beide Begriffe sind zu einfach, um einer Definition fähig sein zu können.

§. 3. **Verteilung von Wasser und Land auf der Erde.** Die wichtige Frage, ein wie grosser Teil der Erdoberfläche dem Meere gehöre, hat schon die alten Geographen beschäftigt, und auch heutzutage ist sie, angesichts unserer fragmentarischen Kenntnis der beiden Polarzonen, noch keineswegs ganz spruchreif. Man muss sich noch immer teilweise mit Vermutungen und angenäherten Berechnungen begnügen. Eine mustergültige Geschichte der auf dieses Kapitel bezüglichen Lehrmeinungen verdankt man Wisotzki [52].

Als ersten Schriftsteller, der so rationell, als es die Mittel seiner Zeit erlaubten, eine Entscheidung anstrebte, müssen wir den Italiener Piccolomini [53] nennen. Vorher war zumeist die unbewiesene Ansicht des Aristoteles, dass das Festland bedeutend überwiege, kritiklos hingenommen worden, und bei den Scholastikern galt sogar bloss der siebente Teil der Gesamtfläche für ozeanisch [54] — ein glücklicher Irrtum, weil Columbus gewisse, wenig klare Aussprüche Strabons, Senecas, des Buches Esra und des Kardinales D'Ailly (I, S. 11 ff.) sich ebenfalls in dem Sinne zurechtgelegt hatte, dass den Westrand der Alten Welt von deren Ostrande nur ein ziemlich schmaler Ozean trenne [55]. Diejenigen allerdings, welche der früher (I, S. 143) geschilderten Irrlehre huldigten, dass die Festlandkugel exzentrisch in die Wassersphäre eingefügt sei, mussten der letzteren einen weit grösseren Oberflächenanteil zuschreiben, und so hielt es denn auch Ristoro von Arezzo (I, S. 12), der die Sternarmut der himmlischen Südhalbkugel als natürliches Korrelat des Wasserreichtums der irdischen Südhalbkugel auffasste [56]. Die Fortschritte der tropischen Länderkunde liessen die Wasserfläche mehr und mehr anschwellen; Coppernicus trat [57] bereits einen statischen Beweis dafür an, dass das Flächenverhältnis des Wassers zum Festlande — es soll von nun an $w:l$ heissen — $< 7:1$ sein müsse. Piccolomini selbst war freilich [58], wie auch die Mehrzahl seiner Landsleute, Berga, Benedetto und auch Fromond, noch immer dafür, dass $w:l < 1$ sei, aber auch die entgegengesetzte Meinung wird im XVI. Jahrhundert von Seb. Münster und Postellus

verfochten. Blancanus sprach sich für die Gleichheit von w und l aus, und bei Riccioli [59] ist noch w : l = 5 : 8, aber im grossen und ganzen wird die Ansicht herrschend, dass gleichviel Wasser und Land vorhanden sein möge. Bislang war noch nicht wirklich gemessen worden, so dass erst Malte-Brun [60], der w : l = 2,31 : 1 setzte, der Herrschaft der blossen Hypothese ein Ende bereitete. Die Methoden, nach denen solche Messungen ausgeführt werden müssen, sind bereits (Abt. II, Kap. V, §. 8) Gegenstand der Besprechung gewesen. Rigaud [61] wählte das Wägungsverfahren und ermittelte w : l = 2,76 : 1; diese, auch von Dove [62] bestätigte Zahl wurde von Humboldt und Ritter als normativ angenommen, und Engelhardt [63] fand, nicht sehr abweichend, 2,827 : 1. Auch neuere planimetrische Bestimmungen, welche Behm und Wagner einerseits [64], Krümmel [65] andererseits durchgeführt hatten, liessen das Verhältnis Rigauds als ein der Wahrheit sehr nahe kommendes erscheinen. In neuester Zeit folgten die Bestimmungen von Penck [66] und Murray [67], und anlässlich einer Arbeit über die Mitteltiefe der Meere war auch Karstens [68] in die Notwendigkeit versetzt, die Arealberechnung aufs neue vorzunehmen. Die Verfügung über die unbekannten Räume um Nord- und Südpol herum — im letzteren Falle nach Supan [69] nicht weniger denn 16,2 Millionen qkm — bleibt immer etwas willkürlich, und die verschiedenen Gelehrten, welche sich mit dem Probleme beschäftigten, haben auch die Zuteilung der Polarflächen zu Wasser und zu Land nach verschiedenen Grundsätzen vorgenommen; Rigaud z. B. (s. o.) rechnete alles unerforschte Gebiet ohne weiteres dem Meere zu. Neuerdings hat H. Wagner [70], veranlasst durch die von Heiderich [71] erhaltenen Zahlen, die Gesamtheit der hier einschlägigen Aufgaben einer Neuprüfung unterzogen, auf welche schon bei der Lehre von der Erdgestalt (I, S. 228) aufmerksam gemacht ward. Nicht viel abweichend von Murray (s. o.), findet Wagner, indem er das Hypothetische des Kalkuls sehr entschieden betont, für die Landgebiete der Nordpolarregion einen Betrag von 4447000 qkm, für die Landgebiete der Südpolarregion von 9000000 qkm [72]. Damit ist denn die Grundlage für jene Verhältnisberechnung gewonnen, welche zur Zeit als die sicherste anzunehmen ist.

Wir geben die Zahlen, welche jeweils einer bestimmten Voraussetzung betreffs der polaren Flächenräume entsprechen, nachstehend so an, wie sie bei Wagner [73] zu finden sind. Die Murray-Pencksche Zahl w : l = 2,54 : 1 kann als obere Grenze für die Gesamtoberfläche gelten. Legt man die vorerwähnten Zahlen für das Landareal der Zirkumpolarkalotten zu Grunde, so bekommt man natürlich so ziemlich das gleiche Verhältnis, wie wenn man die unbekannten Territorien überhaupt ausschliesst; es ist nämlich w : l = 2,60 : 1. Endlich kann man auch bloss die im wesentlichen bekannte Erdoberfläche zwischen 80° n. Br. und 70° s. Br. ausmessen; dieser Messung entspricht die Proportion w : l = 2,62 : 1. In runden Zahlen dürfte 18 : 7 als der wahrscheinlichste Wert anzusehen sein. Dem augenblicklichen Stande unseres Wissens passt sich am besten die Annahme an, dass die Wasserfläche das 2,57fache der Festlandfläche ist.

§. 4. **Grössenverhältnisse der Meere im einzelnen.** Für die einzelnen Haupt- und Nebenmeere sind die von Karstens (s. o.) eruierten Flächenwerte, die auch Supan [74] seinem Werke einverleibt hat, als die verlässigsten anzunehmen. Die genaue Berechnung, welcher soeben unser neuer Wert für w : l entnommen ward, ist nicht etwa dadurch zu stande gekommen, dass man die Areale der konventionell abgegrenzten Meere mit den Arealen der Kontinente verglich, sondern es ward ein anderer Weg eingeschlagen. Die Erdoberfläche wurde durch Paralellkreise von je 10° Bogenabstand in Zonen zerlegt, und für jede Zone wurde das Prozentualverhältnis des Wassers und Landes durch Umfahren der Grenzlinien mit dem Schreibstifte des Planimeters (I, S. 318) ausgemittelt.

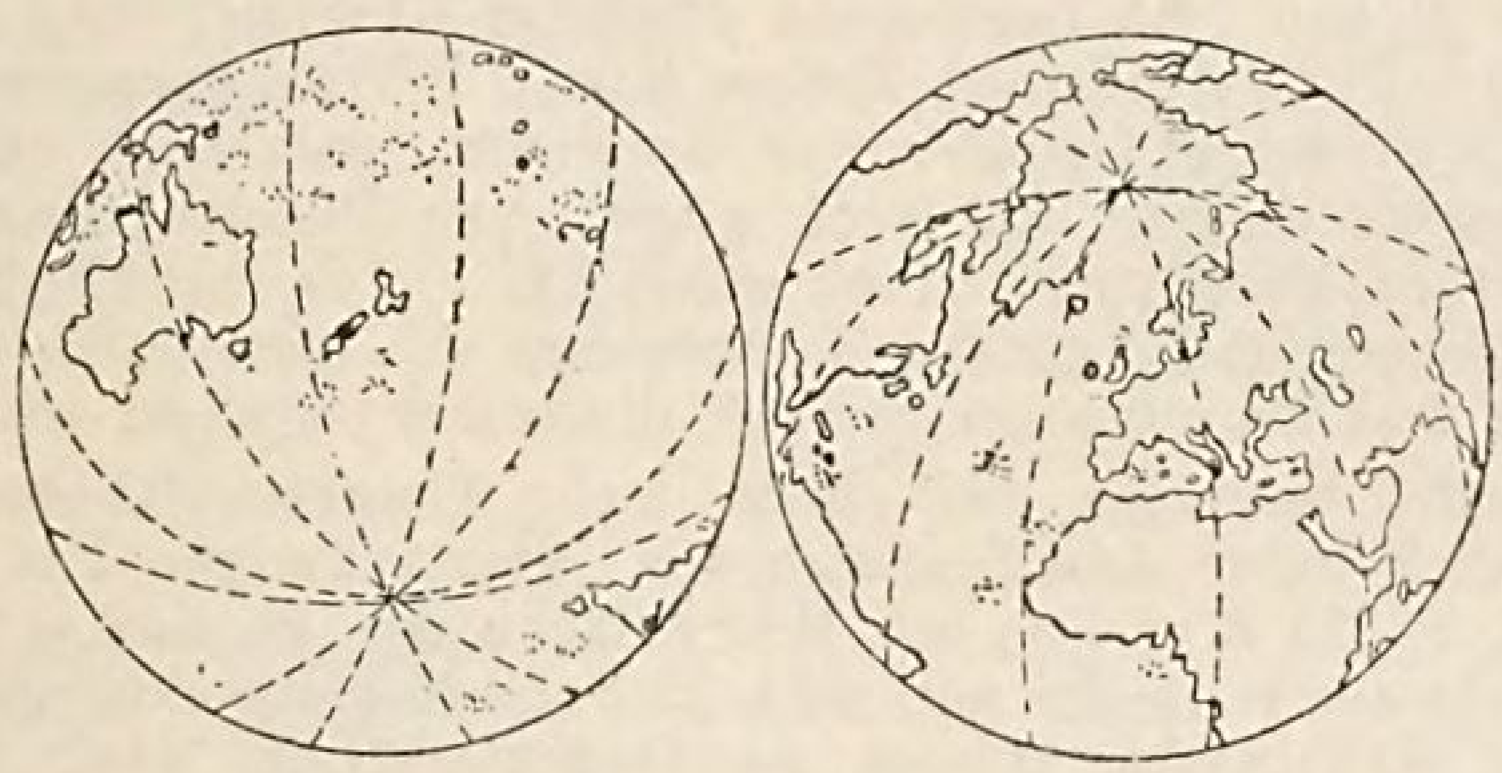
Selbstredend könnte man die Sphäroidfläche auch in kongruente Zweiecke zerlegen und diese Längsstreifen analog behandeln; thatsächlich ist auch H. Wagners Zonenberechnung eine Streifenberechnung durch v. Tillo zur Seite gestellt worden [75]. Wir teilen nachstehend das Resultat der ersteren mit.

Die Verhältniszahlen sind aus folgender Tabelle zu ersehen:

Polhöhen-differenz	Land in %	Wasser in %	Polhöhen-differenz	Land in %	Wasser in %
70—80° N.	28,8	71,2	0—10° N.	22,8	77,2
60—70° „	71,4	28,6	0—10° S.	23,6	76,4
50—60° „	56,9	43,1	10—20° „	22,1	77,9
40—50° „	52,3	47,7	20—30° „	23,1	76,9
30—40° „	42,8	57,2	30—40° „	11,4	88,6
20—30° „	37,6	62,4	40—50° „	3,2	96,8
10—20° „	26,3	73,7	50—60° „	0,8	99,2

Nach Karstens entfallen auf das Nördliche Eismeer (samt Hudsonsbay) 14018459, auf das Südliche Eismeer 15630000, auf den Atlantischen, Grossen, Indischen Ozean bezüglich, wenn man die zugehörigen Nebenmeere jedem ein-

Fig. 74.



zelnen Hauptmeere zurechnet, 88735220, 175545118 und 74059588 qkm. Das Verhältnis der Haupt- und der Nebenmeere gestaltet sich, wie 341903612 : 25964773, so dass also, wie schon erwähnt, die letzteren räumlich ebensosehr in den Hintergrund treten, wie sie aus anderen Gründen der Beachtung der Geographen würdig sind.

Das Zonentableau zeigt recht deutlich, wie ungemein stark auf der südlichen Halbkugel das Meer vorwiegt; wir durften, wie es auch in der Klimatologie geschah, der Landhalbkugel die Wasserhalbkugel gegenüberstellen. Mit noch grösserem Rechte aber kann dies dann geschehen, wenn wir als Grenze beider Hemisphären nicht den Aequator wählen, sondern direkt die Aufgabe so formulieren: Welcher Hauptkreis der Erde ist so gelegen, dass auf seine eine Seite die grösstmögliche Landfläche, auf seine andere Seite die grösstmögliche Wasserfläche entfällt.

Fleurieu (S. 277) hat eine solche Möglichkeit zuerst angedeutet, und Bode [76] hat sie bestimmter gefasst. Selbstverständlich ist die Lösung keine eindeutige, sondern es wird das subjektive Ermessen des Zeichners ein gewichtiges Wort mitzusprechen haben. Wenn man aber die beiden Halbkugeln wählt, als deren Pole resp. Paris und dessen Antipodenpunkt sich darstellen, so gewinnt man ein gutes Bild; Fig. 74 gibt beide Halbkugeln in stereographischer Projektion

und führt uns so vor Augen den nach C. Ritter [77] grössten und wichtigsten Gegensatz, den wir nächst dem klimatischen des Nordens und Südens auf der Erde kennen. — Die neue Bestimmung von Beythien wird in den Zusätzen zu diesem Bande besprochen werden.

§. 5. Das Niveau des Meeres. Ganz abgesehen von der einflussreichen Irrlehre, dass Erd- und Wassersphäre exzentrisch gelagert seien (I, S. 143), war lange Zeit die Ueberzeugung verbreitet, dass die Niveauflächen der einzelnen Meere durchaus keine Uebereinstimmung bewiesen. Man findet eine grosse Anzahl hieher gehöriger Meinungsäusserungen angeführt und besprochen bei Wisotzki [78]. Gegen Ende des XVII. Säkulums war kaum mehr eine Verschiedenheit der Ansichten vorhanden.

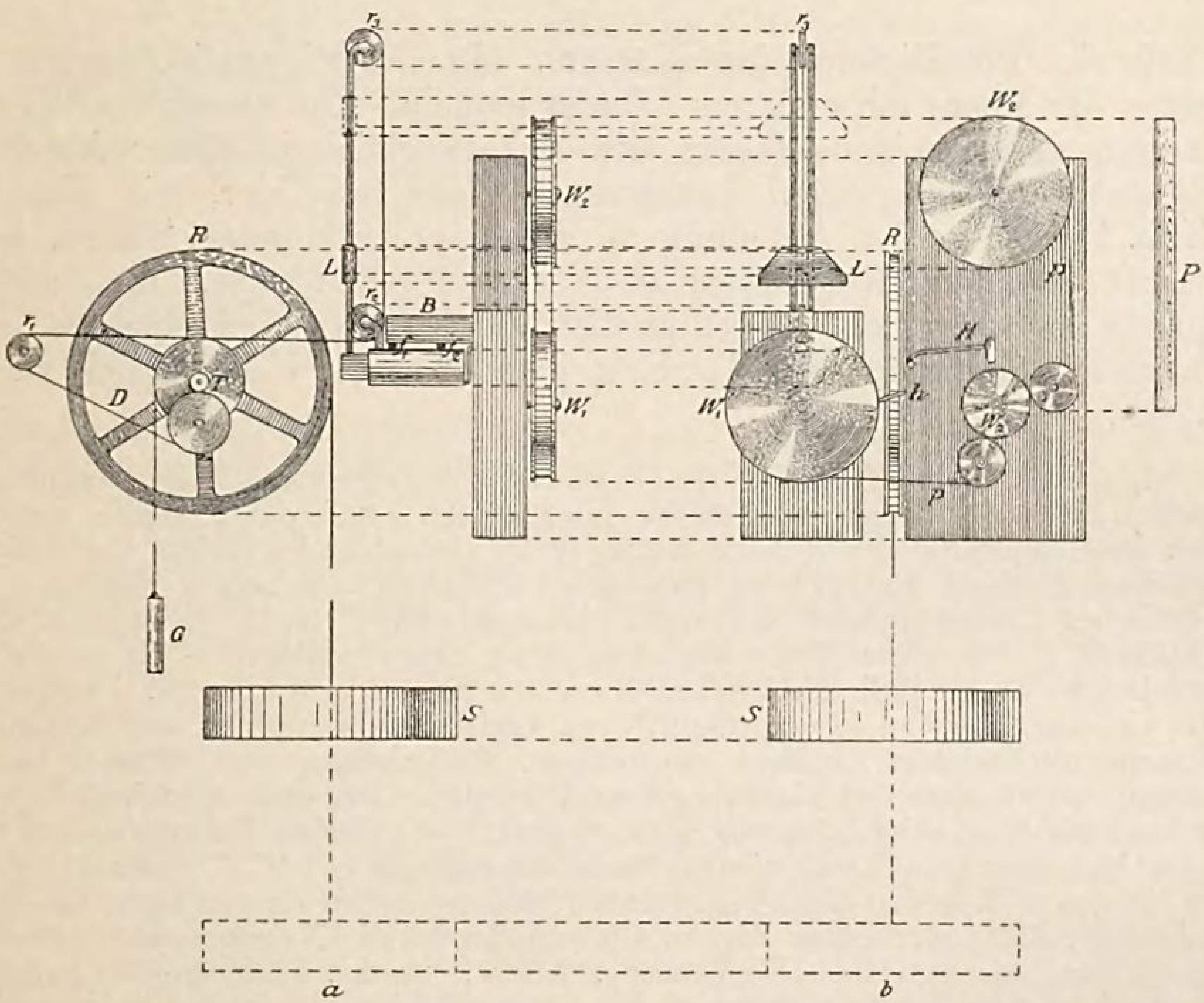
So weiss Plot [79] bestimmt, der Korinthische Meerbusen liege über dem Saronischen, das Jonische Meer über dem Aegäischen, das Tyrrhenische über dem Adriatischen. Gesunde Anschauungen, wie sie schon Dante im „Convito“ (I, S. 12) gehegt hatte [80], verlautbarte auch das — durch Wisotzki [81] unverdienter Vergessenheit entrissene — Gutachten der Jesuiten von Coimbra [82], aber es dauerte lange, bis sich dieselben durchsetzten. Sogar die sehr klare Auseinandersetzung des Varenius, welcher Peschel mit Recht besonderes Verdienst zuerkennt [83], wirkte nicht durchschlagend. Erst um die Mitte des XVIII. Jahrhunderts verschwindet die Niveauungleichheit aus der Lehre von der Quellenbildung, und das sonderbare Argument, man sehe ja mit blossem Auge, wie sich der Meeresspiegel von der Küste an aufwärts wölbe, wurde als optische Täuschung widerlegt, so u. a. von dem berühmten Physiker Sturm [84]. Aber die Niveaudifferenz zwischen Mittelmeer und Rotem Meer, hervorgegangen aus dem nicht völlig richtigen Nivellement französischer Ingenieure, galt doch noch lange danach als eine ausgemachte Sache, und auch gegen eine Durchstechung der Landenge von Panamá wurden Bedenken geltend gemacht, bis dann [87] eine auf Bolivárs Befehl 1829 vorgenommene, genaue Vermessung die vermeintliche Höhendifferenz zwischen Pazifik und Karaibischer See als illusorisch ergeben hatte.

Neue Zweifel basierten auf einem mehr wissenschaftlichen Grunde. Man hatte, hauptsächlich unter dem Einflusse der Untersuchungen Ph. Fischers, einsehen gelernt (I, S. 211 ff.), dass die Meeresfläche der geometrischen Regelmässigkeit entbehrt, dass sie vielmehr nur mittelst Potentialbetrachtungen, bei denen die Attraktion aller umliegender Massen zu berücksichtigen war, annäherungsweise durch eine Gleichung ausgedrückt werden konnte. Nun überschätzte man begreiflicherweise, wie dies sehr einleuchtend eine Abhandlung von F. Pfaff [86] darlegt, den Betrag der Kontinentalanziehung; man musste ihn überschätzen, weil noch nicht bekannt war, dass den Festlandmassen durch subterrane Massendefekte ein Teil ihrer Gravitationswirkung genommen und andererseits unterhalb der Meere die Konzentration der Materie eine besonders grosse ist. Wir wissen aber jetzt, dass jenes Mittelwasser der Ostsee, welches der preussische Geodät Seibt [87] durch mühsame Messungsarbeit festgelegt hat, von den anderen Geoidflächen nur wenig differiert; die wichtigsten Zahlen wurden oben (I, S. 229) mitgeteilt, und wir dürfen das Vertrauen hegen, dass durch nachfolgende Präzisionsnivellements die Werte der gegenseitigen Abstände nicht vergrössert, sondern weit eher noch verkleinert werden.

Zur Bestimmung des augenblicklichen Niveaus einer weit ausgedehnten Flüssigkeitsmasse dient ein Pegel, dessen Prinzip das gleiche einfache ist, das schon beim alten Nilometer, an dem die wechselnde Höhe des Nilstromes gemessen wurde, zur Geltung gekommen war. Darin freilich macht sich der Fortschritt der Zeiten bemerklich, dass das Pegel mit Selbstregistrierungsvorrichtung versehen und dadurch zum Mareographen (Gezeitenmesser) erhoben wurde. Bei der Konstruktion dieser Apparate wurden hohe Anforderungen an das technische Geschick der erfindenden und ausführenden Personen gestellt.

Das erste Instrument dieser Art wurde von Palmer [88] in den Docks von London aufgestellt. Ueber die Art der Messung gibt das österreichische Handbuch gute Auskunft [89], zumal mit Beziehung auf Stahlbergers [90] wertvolle Flutmessungen, welche in Fiume mit einem solchen Mareographen angestellt wurden. Eine Abart desselben ist das selbstthätige Limnimeter (Seemesser) der schweizerischen Seenforscher, von dem wir Sarasins Beschreibung [91] besitzen, und von dem im Kap. IV. noch die Rede sein muss. Ferner ist der Apparat von W. Hess [92] zu nennen, der allerdings zunächst für Flussufer bestimmt und dadurch ausgezeichnet ist, dass er auch bei Ueberschwemmungen zu funktionieren fortfährt. Das Prinzip ist auch hier jenes des selbstthätigen Aufzeichnens von Kurven auf (quadriertem) Koordinatenpapiere, welches jedoch diesmal auf dem Mantel eines sich drehenden Kreiszylinders aufgerollt ist. Eine besondere Art von Wasserstandsmesser hat Klönne bei der Beobachtung der Wasserschwankungen in einem „ersäuften“ Bergwerke nötig befunden [93]. In Deutschland hat automatische Aufzeichner von je der Hamburger Mechaniker Reitz trefflich ausge-

Fig. 75.



führt, und zwar geht von ihm eine Vervollkommnung in dem Sinne aus, dass allgemein die Bewegungsgeschwindigkeit schwimmender Gegenstände, z. B. der Schiffe, gemessen werden kann. Die mathematischen Fragen, zu deren Aufwerfung diese Seewegintegratoren Anlass geben, sind von H. Schubert [94] besonderer Untersuchung unterworfen worden.

Für die deutschen Häfen hat Seibt [95] einen Wasserstandsregistrator angegeben, bei dem etwas länger zu verweilen sein wird. Man hat an ihm, dessen Herstellung dem bekannten Atelier von Fuess (Berlin) übertragen ist, sechs Hauptbestandteile zu unterscheiden: eine Vorrichtung zur Uebertragung des Wasserstandswechsels auf den Apparat, den eigentlichen Wasserstandszeiger, die Vorrichtung zum Aufzeichnen der Standkurven, den Pendelintegrator (vgl. I, S. 318), ein den momentanen Stand markierendes Telephon und den Kontrollmechanismus. Völlig können diese komplizierten Einrichtungen hier nicht beschrieben werden, wohl aber kann der Hauptpunkt Erklärung finden. Auf dem Wasser ruht (Fig. 75a) der Schwimmer S, der, durch das Gewicht G äquilibriert, am Schwimmerrade R hängt. S bewegt sich auf und ab, und diese alternierende

Vertikalbewegung wird einerseits durch das verjüngende Getriebe T, andererseits durch den über die Rollen r_1, r_2, r_3 geführten Kupferdraht D auf die obere Linse L eines Pendels derart übertragen, dass auch diese sich verschiebt; infolgedessen wird die Schwingungsdauer bei steigendem Wasser verkleinert, bei sinkendem vergrössert. Das Pendel selbst ist mittelst Federn (f_1 und f_2) am Balken B aufgehängt und wird von einem Uhrwerke in Bewegung erhalten. Jedem Wasserstande entspricht eine bestimmte Stellung von L, also auch eine bestimmte Anzahl von Pendelschlägen in gegebener Zeit. Um das Wesen der Aufzeichnung zu verdeutlichen, erteilen wir dem Apparate, so wie ihn Fig. 75a darstellte, eine Drehung von 90° (Fig. 75b). Jetzt wird der Hebel h sichtbar, der immer nach 500 Pendelschlägen den Hammer H auslöst; dieser markiert jeden 500. Schlag auf einem Papierstreifen, welcher mittelst Uhrwerkes von der Walze W_1 sich ab- und auf der Walze W_2 sich aufwickelt. Die Distanz der Punkte gestattet, das Maſs des Niveaustandes abzuleiten, während die zugehörige Zeit aus einer zweiten Punktreihe sich ergibt, die in den Streifen P bei dessen Aufrollung auf der Walze W_3 eingestochen wurden. Für die Fernbeobachtung der Stände dient ein Läutesignal, das ebenfalls von der Auslösung des Hammers H abhängt.

§. 6. **Die Färbung des Wassers.** Manche Eigenschaften hat das Wasser der Meere mit anderem Wasser gemein. Um zwecklose Wiederholungen zu vermeiden, fassen wir deshalb gleich in dieser Abteilung auch gewisse Darlegungen zusammen, welche teils hier, teils aber erst in Kap. IV der achten Abteilung an die Reihe zu kommen hätten, wenn man mit strengster Konsequenz zu Werke zu gehen hätte. Insbesondere empfiehlt es sich, nicht ausschliesslich die Farben des Meeres, sondern gleich überhaupt die Farben des Wassers einheitlich zu behandeln.

Die bekannten Versuche Halleys mit der Taucherglocke veranlassten Newton, sich für dieses Problem zu interessieren, und dabei stellte sich ihm Grün als Grundfarbe des Wassers heraus [96]. Humboldt suchte für eine umfänglichere Prüfung Material zu gewinnen, indem er auf seinen Seereisen den wechselnden Färbungsgrund kyanometrisch (Kap. III, § 8) zu bestimmen trachtete [97]. Im wesentlichen herrschte unter den Physikern — Hasenkamps übersichtliche Studie [98] führt neben Newton noch De Maistre, Arago und Melloni besonders an — ursprünglich die Ansicht, dass Strahlen von bestimmter Spektrumszugehörigkeit (modern gesprochen, Wellenlänge) vom Wasser zurückbehalten, andere aber frei hindurchgelassen würden. Dagegen sprach jedoch anscheinend die Thatsache, dass es sehr verschieden gefärbte Naturgewässer gibt. Unsere Alpenseen gewähren, wie die Zusammenstellung von Wallmann [99] ausweist, in dieser Richtung die mannigfachsten Belege, indem sie von smaragdgrün (Königs-See, Klönthal-See im Kanton Glarus) durch alle Nuancen von grün und blau hindurch bis zu tiefblau (Achen-, Atter-, Garda-, Walchen-See) variieren. Das nämliche Meer ist keineswegs in allen seinen Teilen gleichmässig pigmentiert; so erzählt Abegg [100], dass ihm der Indische Ozean schlechtweg grün bei Suez, grünblau im Roten Meere, weiter südlich lachend hellblau, bei der Insel Perim völlig grün, zwischen Aden und Colombo folgeweise blaugrün, hellblau, himmelblau, rein blau, später an den hinterindischen Küsten wieder so tiefblau erschien, wie man das bei den tropischen Meeren überhaupt gewöhnt ist. Oertlichkeiten eines schroffen Ueberganges aus blau und grün sind nicht selten.

Auch bei den Flüssen sind diese beiden Farben die am häufigsten vorkommenden. Bekannt ist, dass der Abfluss eines Gletschers gewöhnlich einen grauen, auch milchweissen Farbenton besitzt; wenn aber derselbe Wasserlauf durch ein Läuterungsbecken hindurchgegangen ist, so tritt er klar und in grünem Glanze strahlend aus dem See aus (Traun bei Gmunden). Sowohl die geognostische Formation des Quellbezirkes als auch die Quantität organischer Beimengungen ist von Belang für die Färbung des Flusswassers. Die schärfsten Beobachtungen hierüber hat Schwager [101] angestellt, indem er sich an die hierfür sehr gute Gelegenheit darbietende Donau zwischen Regensburg und Passau hielt. Die südlichen Zuflüsse weisen, gerade wie

der Hauptstrom selbst, eine blaugrüne Färbung auf, wogegen die von Norden, aus dem Urgebirge, kommenden Zuflüsse gelblichbraun gefärbt und reich an pflanzlich-tierischen Stoffen sind. Ersteres stimmt nicht zu der Ansicht Moltkes [102], alles dem Granit entströmende Wasser zeichne sich durch einen besonders hohen Grad von Farbenreinheit aus; Kalkwasser hielt er für grün, Schieferwasser für grau.

Angesichts solcher Verschiedenheit der Färbungen ist es vor allem wünschenswert, ein Hilfsmittel zu möglichst genauer Fixierung des Tones an einer bestimmten Stelle zur Verfügung zu haben. Das für die meteorologische Optik ganz nützliche Kyanometer Saussures (S. 99) reicht hier nicht aus. Wohl aber hat sich das von Forel [103] vorgeschlagene Xanthometer (ξανθός, gelb) namentlich auch bei Studien über Meeresfärbung sehr gut bewährt.

Seinen Namen dankt dasselbe dem Umstande, dass die Normalfarbentinten durch eine Mischung gelber und blauer Flüssigkeit hergestellt werden; erstere besteht wesentlich aus chromsaurem Kali, letztere aus Kupfervitriol. Forel stellt auf einem Brette dreizehn Reagenzgläschen zusammen, welche mit einer stets wechselnden Mischung gefüllt sind; Nummer 12 und 13 kommen für gewöhnlich nicht in Betracht. Das Schema ist folgendes:

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	XIII
Blaue Lösung in %	100	98	95	91	86	80	73	65	56	46	35	23	10
Gelbe Lösung in %	0	2	5	9	14	20	27	35	44	54	65	77	90

Für die Seen hat sich eine Modifikation des Schemas zweckmässig erwiesen, welche auch den gelegentlich wahrzunehmenden bräunlichen Färbungen Rechnung trägt. Diese Abänderung des Forelschen Xanthometers hat Ule [104] bewerkstelligt, und v. Drygalski [105] erklärt, dass auch auf dem Meere jenes Braun sich oft genug zeige, um berücksichtigt werden zu müssen. Bei praktischem Gebrauche der Farbenskala trachtet man am besten durch Aufspannen eines dunklen Regenschirmes alles direkte Licht sorgfältig fernzuhalten und sucht dann jenes Röhrchen heraus, dessen Farbe mit derjenigen des gerade untersuchten Wassers möglichst genau übereinstimmt.

Dass das Wasser ursprünglich blau sei und anderweites Aussehen nur durch Zutritt fremdartiger Substanzen bewirkt werde, scheint zuerst J. Davy [106] behauptet zu haben, aber mit voller Bestimmtheit sprach sich in diesem Sinne erst Bunsen [107] aus, nachdem er das Wasser der isländischen Geysirs in langen Röhren untersucht hatte. Als ein Nachteil solcher Untersuchung stellte es sich heraus, dass die wahre Wasserfarbe nur an Schichten von grosser Mächtigkeit zu erkennen ist; die Versuche wurden dadurch erschwert, und man musste es als einen Fortschritt der Methode begrüssen, dass Beetz [108] mit reflektierten Strahlen zu operieren lehrte, welche durch mehrmalige Spiegelung einen grossen Weg innerhalb der Flüssigkeit zurückzulegen genötigt waren. Es wurde so konstatiert, dass in der That die blaue Färbung reinem Wasser von Hause aus eigentümlich, inhärent ist; allein damit war man natürlich noch nicht der Notwendigkeit überhoben, dem Grunde dieser Thatsache nachzuspüren.

Angeregt durch das tiefe Blau des Genfer Sees [109], begann Tyndall seine Untersuchungen über diesen Gegenstand, als deren Ergebnis er den folgenden Satz aufstellte [110]: „Das Wasser absorbiert alle jenseits des Rot liegenden Strahlen der Sonne und, ist die Lage dick genug, auch die roten Strahlen selbst. Je grösser die von den Sonnenstrahlen in reinem Wasser durchlaufene Strecke ist, desto mehr werden ihnen die Teile entzogen, die am roten Ende des Spektrums liegen. Die Folge ist, dass endlich das von dem Wasser durchgelassene Licht, das ihm seine Farbe gibt, blau ist.“ Andererseits deutete der englische Physiker aber auch bereits die Möglichkeit an, dass die Verschluckung der langwelligen Strahlen mit internen Reflexionsvorgängen zusammenhängen möge — eine Andeutung von hervorragender Tragweite, wie wir bald sehen werden. Zunächst folgten Versuche [111] von Soret und Hagenbach-Bischoff, ange-

stellt an verschiedenen Schweizer Seen, die darüber Klarheit geben sollten, ob nicht für die blaue Himmelsfarbe (S. 101) und für die analoge Farbe vieler Seen die gleiche Ursache bestehe. In den spiegelglatt daliegenden See senkte man ein Rohr, das unten mit einer Glasplatte verschlossen war, so tief ein, dass letztere jeder Lichtzurückwerfung vom Grunde her entzogen war; gleichwohl war stets Polarisation (Kap. III, § 10) vorhanden, so dass also eine wenigstens partielle Reflexion des blauen Lichtes unbedingt angenommen werden musste. Und zwar trat diese Polarisation in grünem ebensowohl wie in blauem Seewasser auf. Soret hielt also einstweilen daran fest [112], dass die Wasserfärbung durch reflektiertes Licht von kurzer Wellenlänge bedingt sei, und dass mit der Vermehrung von Fremdkörpern die blaue Farbe mehr und mehr in die grüne übergehe.

Hier setzten die Arbeiten von Spring [113] ein, denen auch eine Experimentaluntersuchung von Boas [114] zur Seite getreten ist. Sie setzten ausser Zweifel: Wasser ist, in gewisser Mächtigkeit auftretend, unter allen Umständen blau, und zwar ist die Absorption der dem roten Spektrumsende benachbarten Strahlengattungen das ursächliche Moment. Im übrigen ergaben Springs Versuche viele merkwürdige Resultate betreffs der koloristischen Einwirkung fremder Beimengungen.

War das in eine Röhre gefüllte Wasser nach dem absolut strengen Verfahren des belgischen Chemikers Stas gereinigt, so blieb es immerfort blau, während gewöhnliches destilliertes Wasser sich immer nach einiger Zeit grün färbte — wohl durch Hinzutritt kleinster Lebewesen (S. 365). Zusatz einer giftigen Sublimatlösung vernichtete die Sporen und stellte die blaue Färbung wieder her, allerdings jedoch auch nicht für die Dauer. Destilliertes Wasser der ersteren Art dagegen ist, um einen Tyndallschen Ausdruck zu gebrauchen, optisch leer. Wenn dem aber so ist, dann müssten eigentlich die tiefen Regionen vollkommen schwarz erscheinen [115], falls auch für sie diese optische Leere zuträfe, und da jener totale Lichtverlust nach den Beobachtungen Sorets (s. o.) nicht eintritt, so sind eben die Naturgewässer sämtlich mit Objekten durchsetzt, welche an und für sich nicht zum Wasser gehören. Die Fahrten des deutschen Expeditionsschiffes „Gazelle“ hatten v. Schleinitz zu der prinzipiell auch von Spring [116] gebilligten Anschauung geführt, dass der Grad der Bläue mit der Menge der im Wasser enthaltenen Salze sich ändere. Blaues Wasser bleibt auch blau, wenn es farblose Salze im Zustande vollkommenster Auflösung in sich schliesst; sowie ein Niederschlag nur ganz schwach sich vorzubereiten beginnt, macht sich die gelbe Farbe geltend, und so können sich selbständig alle Grade der Xanthometerskala (s. o.) herausbilden. Wenn in den oberen Schichten Fremdkörper in stärkerem Masse verteilt sind, so wird das Wasser getrübt und sieht sich grün an; aber auch da, wo solche Zusätze fehlen, wo also z. B. die kleinsten Meeresorganismen (s. u. in §. 8) nicht mehr ihre Daseinsbedingungen erfüllt finden, tritt keine optische Leere im strengen Wortsinne ein, weil durch Salzgehalt- und Temperaturunterschiede unaufhörlich schwache Strömungen hervorgebracht werden, welche in ähnlicher Weise Lichtreflexion bedingen, wie dies die zahllosen Oberflächen suspendierter Teilchen thun würden. Doch soll nicht unerwähnt bleiben, dass diese Seite der von Spring gegebenen Erklärung von Abegg als unzureichend bezeichnet wird, und als abschliessend will sie auch uns keineswegs erscheinen, aber der Umstand, dass auch in schwächst belebten Meeresteilen diffuse Zurückwerfung stattfindet, muss als Faktum hingenommen werden. Es bleibt ferner bei der von Sainte-Claire-Déville [117] bestimmt formulierten Ansicht, dass bei der grünen Oberflächenfärbung mancher Ströme, wie des Rheins und des Doubs, organische Suspensionsstoffe ein ursächliches Moment darstellen.

Wie man aus den bisherigen Angaben ersieht, und wie es am bestimmtesten von Abegg (s. o.) ausgesprochen ward, müssen, wenn man das Blau des Wassers korrekt verstehen will, zwei zunächst nicht sich wechselseitig bedingende Erscheinungen auseinandergehalten werden. Eine verschieden starke Absorption roter und gelber Strahlen ist immer vorhanden, wie dies schon aus der — in Abt. V, Kap. III, §. 11 zitierten — spektroskopischen Analyse des Lichtes der Grotta azzurra von Capri durch Vogel [118] hervorgeht. Daneben aber finden im

Inneren der Wassermasse die vielfältigsten diffusen Reflexionen statt, so wie sie Lord Rayleigh [119] für die Lufthülle aufgezeigt hat, und insofern ist das Wasserblau auch eine Reflexionserscheinung, wenn auch in sehr anderem Sinne, als es dies nach J. R. Forsters Meinung sein sollte, der nur an eine Spiegelung der Himmelsbläue dachte [120]. Suchen wir die Konklusionen langwieriger und mühsamer Spezialstudien in wenige Sätze zusammenzudrängen, so dürfte diesen etwa der folgende Wortlaut zu erteilen sein:

Was wir als gefärbtes Licht von einer Wasserfläche kommen sehen, ist ein doppeltes: Durchgangslicht und Reflexionslicht; beide Lichtgattungen setzen sich wesentlich aus Strahlen von sehr kleiner Wellenlänge zusammen, und so erscheint das Wasser uns notwendig blau. Die Wirkung des durch Absorption von seinen langwelligen Bestandteilen befreiten Durchgangslichtes ist nach Spring und Abegg der stärkere Teil des Gesamtfarbeneindruckes. Der verschieden starke Salzgehalt bringt Aenderungen im Xanthometergrade zuwege, während andere Fremdkörper, vorab organische, die optische Leere in besonderem Sinne modifizieren und grüne Farbentöne erscheinen lassen.

So ist es leicht einzusehen, dass, wie v. Boguslawski bemerkt [121], grünlich gefärbtes Wasser (Discoloured Water) von den Seefahrern als ein Zeichen von Untiefe, schlammigem Meeresgrunde u. s. w. aufgefasst wird. — Gewisse konventionelle Meeresnamen haben nicht immer mit der Wasserfarbe zu thun. Das Gelbe Meer führt zwar seinen Namen mit Recht, weil der Hwangho unermessliche Massen feinverteilter Lösstoffe in jenes seichte Becken hinausführt, aber das Rote Meer (koptisch „Schilfmeer") ist (s. o.) blaugrün, und schon Bischof Thietmar führte im XIII. Jahrhundert die sonderbare Bezeichnung auf die rötliche „terra circumjacens" zurück [122]. Immerhin hat Ehrenberg aus der blutroten Färbung des Küstenwassers an der Sinai-Halbinsel, welche er auf Trichodesmium Erythraeum, C. Keller dagegen auf die zahlreichen Medusen zurückführt, die Genese des Namens vielleicht ganz zutreffend hergeleitet [123]. Auch das Schwarze Meer bleibt in seiner Etymologie unklar; Gelcich berichtet [124], dass slavische Schriftsteller zuerst von „Mare czorne" oder „Zorno more" gesprochen haben, ohne jedoch dafür einen Grund anzugeben.

Wenn es richtig ist, dass das Dasein von Licht zerstreuenden Fremdkörpern das Blau des Wassers mit verursacht, so drängt sich von selber der Schluss auf: Wasserfärbung und Durchsichtigkeit stehen in enger Wechselbeziehung. So verhält es sich auch wirklich, und es sind die Belege dafür insbesondere durch Krümmels umfangreiche, auch zuerst das kartographische Element in sein Recht einsetzende Forschungen [125] bei der Fahrt des Dampfers „National" (s. u. in §. 8) erbracht worden. Es wird also an der Zeit sein, auch dem zweitgenannten Faktor eine spezielle Betrachtung zu widmen.

§. 7. **Die Durchsichtigkeit des Wassers.** Das Wesen der Durchsichtigkeit oder Transparenz wurde oben (Abt. V, Kap. III, §. 6) für die Atmosphäre definiert; der Begriff bleibt derselbe, wenn wir es mit tropfbarflüssigen oder festen Körpern — in Gestalt sehr dünner Scheiben oder glasartiger Substanzen — zu thun haben. Als erste Frage tritt uns eine doppelte entgegen: Wie tief dringt Licht in Wasser ein, und mit welchen Mitteln messen wir diese Tiefe des Eindringens? Die Vorrichtungen, welche eine solche Messung ermöglichen, werden uns also zunächst zu beschäftigen haben.

Man pflegt das übliche Verfahren als das Secchische zu bezeichnen, allein obwohl es ja seine Richtigkeit hat, dass der berühmte Astrophysiker seine

Aufmerksamkeit gelegentlich auch einmal auf diesen Punkt richtete [126], so ist doch die Sache selbst viel zu einfach, als dass sie nicht schon von älteren Seefahrern ganz ebenso angefasst worden wäre, wie es noch jetzt geschieht. Schon im XVIII. Jahrhundert wurden von der Bemannung des Schiffes „Coquille" Versuche in der Art angestellt, dass man eine weiss angestrichene Holzplatte, deren wagrechte Haltung durch Gewichte gesichert war, ins Wasser immer tiefer hinabsenkte, bis sie dem Auge entschwand [127]. Man überzeugte sich, dass dies in einem Falle früher, im anderen später geschah. Gerade so hält man es im wesentlichen noch heute; die Verschwindungstiefe betrachtet man als das Mass der Transparenz, welch letzteres somit — eine Schwierigkeit für Vergleiche — durch eine benannte Zahl dargestellt wird. Allerdings hat man auch das Wildsche diaphanometrische Prinzip (S. 97) für maritime Zwecke aptiert [128] und so gefunden, dass eine 5 m lange Röhre reinen Wassers $^2/_3$ aller durchgehenden Strahlen verschluckt, dass eine Schicht von 300 m Mächtigkeit fast gar kein Licht mehr durchlässt, und dass der Durchsichtigkeitskoefficient (vgl. S. 263) mit wachsender Temperatur abnimmt. Eine reine Zahlgrösse dieser Art eignet sich jedenfalls besser als die — noch dazu von subjektiven Nebenbedingungen stark abhängige — Verschwindungstiefe zur Messung der Transparenz. Was letztere anlangt, so betrug deren bislang beobachtetes Maximum 66 m [129], was auffallend genau mit den theoretischen Vorausbestimmungen von Bouguer [130] und Lambert [131] stimmen würde. Es liegt zwar eine Nachricht von Wood vor, dass er im Jahre 1676 den auf 145 m geloteten Boden in der Nähe von Novaja Semlja gesehen habe [132], allein dieselbe ist zu wenig beglaubigt, um als Gegenzeugnis beigebracht werden zu können.

Die vorgenannten Beobachtungen bezogen sich auf das Meer; aber auch für Binnenseen wurden Durchsichtigkeitsmessungen vorgenommen, welche nicht minder grosse Verschiedenheiten — sogar für den nämlichen Wasserbehälter — erkennen liessen. Dieselben haben eine klimatische Ursache, denn in den einzelnen Jahren und Jahreszeiten ist für die oberitalienischen Seen wenigstens, wie De Agostini ermittelte [133], der Transparenzgrad ziemlich konstant, falls nicht besondere Witterungszustände obwalten. Der durchsichtigste unter ihnen ist der Lago d'Orta. In dem kleinen Raume, in welchem die Moränenseen von Ivrea eingebettet liegen, variierte, dem gleichen Gewährsmanne zufolge [134], die Verschwindungstiefe zwischen 1 m (See von Moncrivello; September) und 10 m (See von Vivarone; Januar).

Die übliche Art, die Transparenz zu bestimmen, ist jedenfalls keine solche, durch welche das Problem seine endgültige Erledigung fände. Als untere Grenze kann vielmehr mit einigem Rechte diejenige Tiefe angenommen werden, bei welcher das Licht auf eine empfindliche photographische Platte zu wirken aufhört. Die Beobachtungen Sorets (s. o.) haben dargethan, dass diese Tiefe eine viel beträchtlichere als die gewöhnliche Verschwindungstiefe ist, und Messungen von Fol [135] bestätigten das vollauf. Er stellte im Golfe von Neapel die nachstehenden Beziehungen fest:

Tag	Höhe der Sonne	Maximaltiefe der chemischen Lichtaktion in Metern
26. März	48° 35′ 40″	380 bis 400
7. April	52° 34′ 14″	400
16. Juli	68° 8′ 2″	465

Gewiss haben, darin hat Fol unbedingt recht, alle derartigen Bestimmungen erst dann ihren vollen Wert, wenn sie auf eine konstante Sonnenhöhe — etwa auf Zenitalstand — bezogen sind. In den italienischen Gewässern, deren Durchsichtigkeit ja eine sprichwörtliche ist, in denen die Taucher das leichteste Spiel haben, wird der Absolutwert der Tiefe des Lichteindringens natürlich auch eine besonders grosse sein; in den Binnenseen ist auch sie ungleich geringer. Von Forel liegen ebenfalls wichtige Daten vor [136]; stellen wir der Kürze halber der oben definierten Verschwindungstiefe v die Neutralisierungstiefe n gegenüber, bei deren Erreichung Chlorsilber nicht mehr auf den Lichteindruck reagiert, so können wir die Forelsche Tabelle folgendermassen wiedergeben:

Termin	n in Metern	v in Metern
Vom 8. bis 9. März 1887	100	15,6
Am 11. Mai 1887	75	?
Vom 5. bis 7. Juli 1887	45	5,5
Am 6. September 1887	50	5,0
Vom 9. bis 12. November 1887	85	12,3
Am 7. Februar 1888	85	18,0
Vom 4. bis 6. März 1888	110	16,5

Eine strikte Gesetzmässigkeit, dass etwa die Neutralisierungstiefen den Verschwindungstiefen proportional wären, lässt sich aus diesen Zahlen nicht herauslesen.

Von grossem Interesse ist ferner auch Forels Angabe über den Zusammenhang zwischen Verschwindungstiefe und Xanthometergrad (S. 385) [137]:

Mittlere Sichtbarkeitstiefe in Metern	Färbung	Grad der Xanthometerskale
15,8	grün	9—10
16,2	grünblau	5— 9
23,2	mattblau	2— 5
26,7	blau	0— 2

Damit ist erhärtet, was bereits am Schlusse des vorigen Paragraphen als wahrscheinlich hingestellt und durch Krümmels Durchmusterung grosser Flächen des Atlantischen Ozeans als einem Naturgesetze entsprechend erkannt war. Je reiner blau das Wasser ist, um so durchsichtiger ist es auch, um so höhere Werte nehmen Verschwindungs- und Neutralisierungstiefe an. Das Wasser zeigt eben dann seine Naturfarbe und ist in besonders hohem Maſse frei von Zusätzen, welche einerseits den Transparenzgrad herabsetzen und andererseits eine Annäherung an Grün zuwege bringen. Auch von Arago [138], Scoresby [139] und v. Jolly [140] war — hauptsächlich im Hinblick auf die vielfach krystallklaren und erst bei grösseren Tiefen ins Ultramarinblaue spielenden Polarmeere — dieser Sachverhalt schon eingesehen und richtig interpretiert worden. Die Rolle, welche dabei der Temperatur zugewiesen ist, wird noch durch weitere Untersuchungen klargestellt werden müssen.

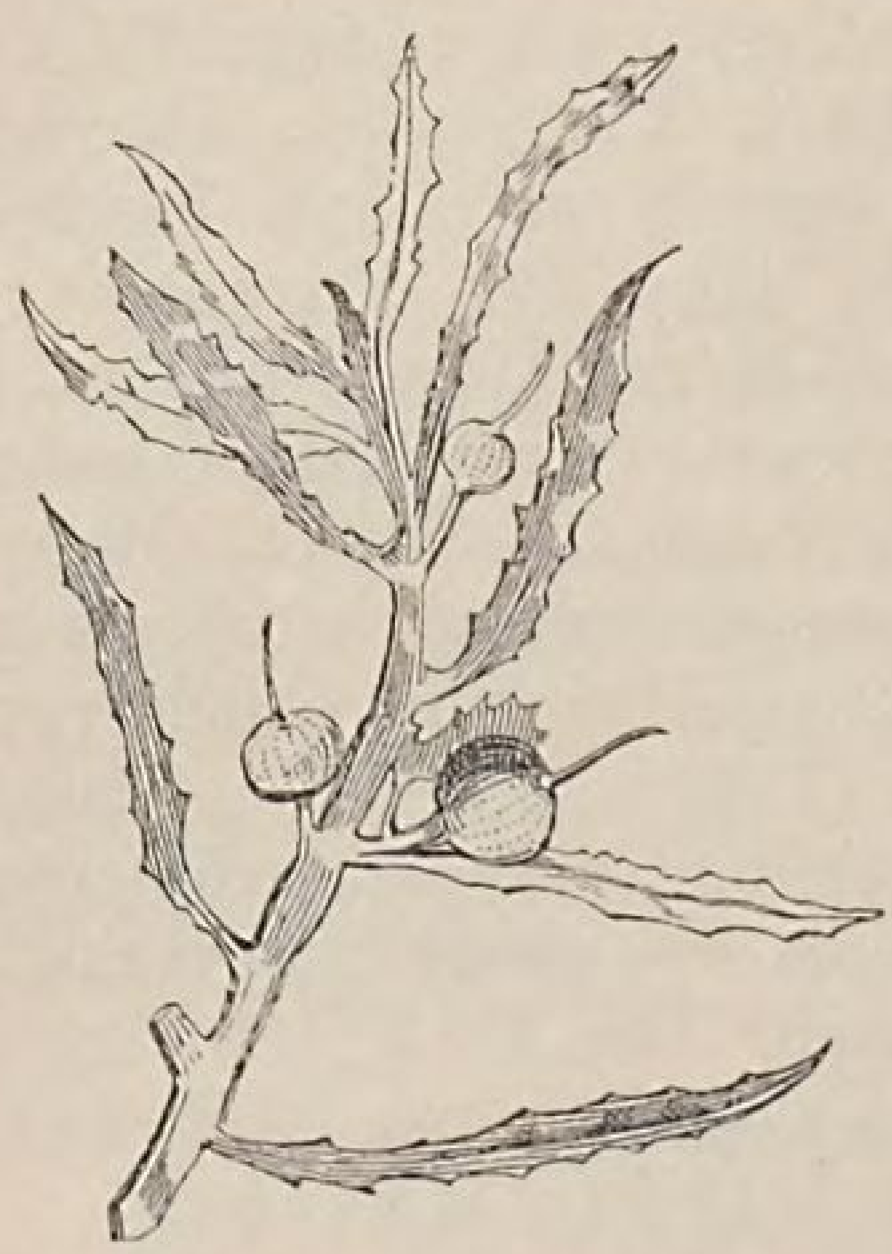
§. 8. **Pflanzenmeere.** Schon seit alten Zeiten ging die seemännische Sage, es gäbe Meeresteile, welche durch Ansammlung schwimmender Pflanzen unbefahrbar gemacht seien. Durch die Entdeckungsreisen des Columbus und anderer bekam die Sage neue Nahrung. Später wollte man das Vorhandensein solcher Meeresstellen ganz und gar in Abrede stellen, und erst der neuesten Zeit blieb es vorbehalten, zu erkennen, dass auch in diesem Falle die Wahrheit in der Mitte liegt.

Die geschichtlichen Grundlagen der Fabel von den Krautwiesen oder Tangbänken hat Kretschmer [141] aufgehellt. Platon sagt, die mystische Insel Atlantis (s. u. Abt. VII, Kap. III) sei untergegangen, und als ihr Residuum sei eine schlammartige Masse auf dem Meere verbreitet gewesen, in welcher die Schiffe stecken blieben. Auch im „Periplus maris erithraei" des Skylax, bei

Theophrast, in dem pseudoaristotelischen Buche „De Mirabilibus“ und in den „Ora maritima“ des Avienus wird einer angeblichen Unwegsamkeit des Meeres — an der Nordwestküste Afrikas —, verursacht durch schwimmendes Krautwerk, Erwähnung gethan. Bei Avienus heisst es [142]: „. . . exstare fucum et saepe virgulti vice retinere puppim.“ Als dann der Entdecker Amerikas die Rossbreiten (S. 198) erreichte, welche ohnehin durch Windstillen gekennzeichnet sind, erschrak das Schiffsvolk vor der grünen Decke des Meeres, welche die Fahrt aufhalten zu wollen schien, und deshalb ist von den Tangwiesen sowohl in seinen eigenen Reiseerzählungen, als auch in denen eines Petrus Martyr (I, S. 13) und im Werke Navarretes mehrfach die Rede, ohne dass jedoch eine andere Benennung als „Kraut“ (herba oder yerba) gebraucht würde. Die Portugiesen kannten die Erscheinung schon frühe, und von ihnen stammt das Wort „sargaço“ her, welches seitdem denjenigen Pflanzen, aus denen sich der schwimmende Teppich hauptsächlich zusammensetzt, beigelegt wurde [143]; man unterscheidet die beiden Arten Sargassum vulgare und Sargassum bacciferum und spricht von einem Sargassomeere als einem Teile des Nordatlantik. Als eine zusammenhängende Decke wurde die Pflanzenansammlung gewöhnlich geschildert, wie denn auch Humboldt, der sich eingehend mit der Sache beschäftigte [144], unwillkürlich die Grossartigkeit dieses Auftretens „geselliger Pflanzen“ übertrieb, indem er dabei, wie auch später Merrifield [145], auf die antiken Angaben über derartige Vorkommnisse hinwies. Doch hatte schon lange zuvor, wie Drude bemerkt [146], der holländische Konchyliologe Rumphius die phantastischen Vorstellungen über die Kompaktheit der Gewächsmasse als irrig bezeichnet.

In noch einschneidenderer Weise that dies Kuntze [147], der eine verdienstliche botanische Untersuchung der in Rede stehenden Pflanzen vornahm. Im wesentlichen besteht das Sargassomeer aus Pflanzen, welche ursprünglich am Lande wachsen, welche durch die Brandung und durch die Gezeiten vom Ufer losgerissen waren und durch Luft- und Meeresströmungen nach einer relativ strömungslosen Ozeangegend zusammengetrieben wurden. Die Beeren gleichenden Luftbläschen, welche Fig. 76 vor Augen stellt, erhalten ein Pflanzenindividuum lange schwimmend. Die Frage, wie lange ein solches aber auch in treibendem Zustande noch seine Lebensfähigkeit bewahrt, ist noch nicht entschieden und fordert nähere Prüfung. Wenn also auch Kuntzes Kritik gewiss am Platze war, und wenn es auch vorkommen kann, dass ein von Nordwestafrika nach den südlichen Vereinigten Staaten segelndes Schiff gar kein Tangbüschel zu Gesichte bekommt, so müssen wir doch, nachdem Krümmel alle einschlägigen Nachrichten kritisch gewürdigt [148] und diesen Ermittelungen bei Gelegenheit der Fahrt des „National“ die Autopsie hinzugefügt hat, die Existenz eines atlantischen und, wenngleich in noch mehr verminderter Ausdehnung des Begriffes, auch eines nordpazifischen Tangmeeres zugeben.

Fig. 76.



Die Journale des Archives der Deutschen Seewarte (S. 359) geben die Mittel an die Hand, das atlantische Sargassomeer einigermassen abzugrenzen. Rechnet man alle Stellen ein, an denen schwimmende Tangmassen in mindestens 10 % aller Fälle der Berührung jener Orte wahrgenommen wurden, so kann man sagen: Das Sargassomeer im nördlichen Atlantik wird durch die Parallelkreise von 21° und 34° n. Br. und durch die Meridiane von 39° und 75° w. L. umschlossen. Dieser Meeresteil wird, wie auch Habenichts schöne Kärtchen der Ozeanhälfte für den Sommer und Winter ersehen lassen [149], von regelmässigen Winden und Meeresströmungen rings umschlossen, womit denn auch die Anhäufung der in das ruhige Innere des grossen Wirbels getriebenen Pflanzen erklärt ist. In den freien

Gebieten des Sargassomeeres beobachtet man [150] eine tiefkobaltblaue Färbung und eine ungewöhnlich starke Durchsichtigkeit.

§. 9. **Plankton und Meeresleuchten.** Die Tierwelt des Meeres zu studieren, ist an und für sich nicht Aufgabe der Geophysik, allein es wurde von Anfang an (I, S. 39) hervorgehoben, dass es immerhin Fälle geben könne, in denen auch unsere Disziplin einer gewissen Rücksichtnahme auf phyto- und zoogeographische Fragen sich nicht zu entziehen vermag. Für ersteres lieferte der vorhergehende Paragraph einen Beleg; diesmal wird uns die niedere Fauna der Ozeane einigermassen interessieren. Aus dem in manchen Hinsichten bahnbrechenden Werke von Ortmann [151] kann man die innigen Wechselbeziehungen zwischen der Verteilung der Lebewesen und physikalisch-geographischen Verhältnissen kennen lernen; aus den Untersuchungen von Chun [152] und Lampert [153] geht hervor, wie bedeutsam das in §. 6 erörterte Verhalten tiefer Gewässer gegen das Eindringen des Lichtes auch dem Zoologen sein könne. An dieser Stelle sind es besonders die als Plankton und Benthos bezeichneten Aggregate, von denen wir einige Kenntnis zu erlangen suchen müssen.

Das Wort Plankton kommt, wie Planet, vom griechischen Verbum πλανᾶσθαι her und würde wörtlich bedeuten: Das auf den Wogen Umhergeworfene. Benthos ist so viel wie Tiefe. Die kleinen, grossenteils mikroskopischen Organismen, welche, in keiner Weise an den Untergrund gebunden, die ungeheuren Meeresräume durchschwärmen und den höher entwickelten Tieren zur Nahrung dienen, stellen in ihrer Gesamtheit das Plankton dar, wogegen das Benthos alle mit dem Boden verwachsenen oder dortselbst durch Laufen und Kriechen sich fortbewegenden Tiere umfasst. Häckel, dessen Planktonstudien [154] diese Terminologie geschaffen haben, trennt noch von Plankton und Benthos das Nekton (νηκτός, schwimmend), zu dem die frei, auch gegen die Strömung, fortkommende Tierwelt gehört, wogegen Ortmann (s. o.) die Tiefseefauna als sessiles (sedere, sitzen), vagiles (vagari, umherschweifen) und nektonisches Benthos gliedern möchte.

Ein eigentümliches Aichungsverfahren, mittelst dessen die ungefähre Menge des Planktons in einem gegebenen Raume Meerwasser bestimmt werden soll, ist von Hensen [155] in Vorschlag gebracht worden; die Kontroverse, welche zwischen den beiden letztgenannten Gelehrten über die Möglichkeit solcher Messungen geführt wurde, darf hier wohl um so eher unbesprochen bleiben, nachdem die Fahrt des Dampfers „National" (s. o.), welche eben im Dienste der Planktonforschung unternommen worden war, sehr günstige Ergebnisse geliefert hat. Hensen, der Leiter der Expedition, hat sich hierüber selbst des näheren ausgesprochen [156]. Die fundamentale Bedeutung des Planktons, an welchem man achtlos vorübergegangen war, ehe der grosse Physiologe Joh. Müller an dessen eigenartige Stellung im Naturhaushalte erinnert hatte, ist durch Hensens Reise sichergestellt und wird durch die mit Reichsmitteln in Szene gesetzte Expedition Chuns noch bestimmter formuliert werden können; im nächsten Kapitel wird uns dasselbe als Bodenbildner wieder begegnen. Für jetzt haben wir es mit ihm zu thun als mit dem Verursacher und Träger einer höchst merkwürdigen Lichterscheinung des Meeres.

Das Meeresleuchten ist ein an manchen Küsten sehr regelmässiges, an anderen selteneres Phänomen, das nach gewissen Andeutungen schon den Alten bekannt war und schwerlich erst von Amerigo Vespucci zuerst wahrgenommen wurde [157]. Lange befand man sich im Unklaren über die Ursache des phosphoreszierenden Schimmers, der sich bei jedem Ruderschlage verstärkt zeigt, weil von der erhobenen Schaufel förmliche Leuchtgarben nach allen Seiten ausstrahlen. Humboldt stellte die These auf [158]: „Das

Leuchten des Meeres wird teils durch lebendige Lichtträger, teils auch durch organische Fasern und Membranen bewirkt, die ihren Ursprung der Zerstörung jener lebendigen Lichtträger verdanken." Bald nachher sollte die relative Richtigkeit dieser Auffassung ausser Zweifel gestellt werden.

G. A. Michaelis [159] sprach erstmalig lebende Infusorien als die Ursache des Leuchtens an, und Ehrenberg, über dessen erste Arbeiten auf diesem Felde Laue sorgfältigen Bericht erstattet, sprach dann das entscheidende Wort [160]. Zwar hatten auch ältere Forscher, wie Boyle, Nollet, Bartholin, Forskäl (Niebuhrs Genosse auf der arabischen Reise), Buffon und Labillardière, die Mitwirkung kleiner Tiere wohl erkannt, aber die Art des Leuchtprozesses wurde falsch verstanden; „Canton", so meldet Rosenberger [161], „überreichte 1769 der Royal Society eine Arbeit über das Leuchten des Meeres, worin er dasselbe durch den Gehalt des Wassers an fauligen und schleimigen organischen Materien erklärte." Forster dachte an eine — wennschon vielleicht nur subsidiäre — Elektrizitätsentwickelung [162], welche nach Legentils Meinung [163] von der Reibung des schnell bewegten Schiffskieles mit dem Wasser ausging. Indem aber Ehrenberg glitzerndes Meerwasser in Uhrgläsern auffing und dessen Inhalt der mikroskopischen Prüfung unterwarf, fand er unzählige Exemplare von Noctiluca scintillans, welche durch Zugiessen von Säuren zum Wiederaufleuchten gebracht werden konnten. Mehr denn 100 — zumeist winzige — Lebensformen wurden als Leuchtinfusorien nachgewiesen, im Mittelmeer allein 10; in den Polarregionen scheinen diese Tiere mehr in der Tiefe zu leben. Gewiss stellen auch grössere Tiere — Krustazeen, Würmer, Salpen, Seesterne und Polypen — nach den Untersuchungen von Moebius [164] ihr Kontingent, und vielleicht sind auch Leuchtpflanzen nicht gänzlich ausgeschlossen [165], aber in der Hauptsache gilt von der ebenso reizvollen wie lehrreichen Erscheinung doch das folgende:

Das Meeresleuchten wird in erster Linie hervorgerufen durch spontane Lichtemission sehr kleiner, dem Plankton zuzurechnender Tiere, und erst in zweiter Linie leisten auch makroskopische Organismen ihren Beitrag. Von Th. Studer [166] haben wir erfahren, dass bei den meisten pelagischen Lebewesen ein äusserer Reiz intermittierend-phosphoreszierendes Lichtsprühen auslöst, welches an gewisse Hautstellen oder auch an die den Stoffwechsel vermittelnden Organe geknüpft erscheint und mutmasslich als eine Art von Schutzvorrichtung des von jenem Reize angegriffenen Tieres zu denken ist.

Gewisse Spezialitäten des Meerleuchtens, wie das Erglänzen der Wasserfläche in milchweissem Lichte („Wintermeer", „mer du lait"), deren v. Boguslawski [167] gedenkt, dürften wohl der gleichen obersten Ursache zugerechnet werden. Ein Schiffsführer berichtete [168], er habe sich nächst der Insel Sokótra scheinbar durch eine Schneedecke Bahn brechen müssen, und in der Kiellinie sei ein pechschwarzer Streifen zurückgeblieben. Ein andermal hatte die Mannschaft den Eindruck [169], als fahre sie über im Wasser befindliche Kometenschweife hin. Es bleibt da noch manches aufzuklären, und das Archiv der Seewarte würde Studien in dieser Richtung den vielseitigsten Stoff zur Verfügung zu stellen in der Lage sein.

[1] Ilek, Lehrbuch der Ozeanographie, Wien 1857. — [2] S. Ruge, Der Chaldäer Seleukos, Dresden 1865. — [3] C. Neumann-Partsch, Physikalische Geographie von Griechenland mit besonderer Rücksicht auf das Altertum, Breslau 1855, S. 254. — [4] Kretschmer, Die physische Erdkunde im christlichen Mittelalter, Wien-Olmütz 1889, S. 78 ff. — [5] Wisotzki, Zeitströmungen in der Geographie, Leipzig 1897, S. 1 ff. — [6] Porta, De aëris transmutationibus libri IV, Rom 1614, S. 127 ff. — [7] Fournier, L'Hydrographie contenant la théorie et la pratique de toutes parties de la navigation, Paris 1643. — [8] J. Vossius, De motu marium et ventorum liber, Haag 1663. — [9] Varenius, Geographia generalis, Amsterdam 1671, S. 113 ff. — [10] Bótero, Relationi del mare, Venedig 1599. — [11] Merula, Cosmographiae generalis libri III, Venedig 1605. — [12] Graf Marsigli, Brieve ristratto

del saggio fisico intorno alla storia del mare, Bologna 1711; Histoire de la mer, Amsterdam 1725. — [13] Popowitsch, Untersuchungen vom Meere, Leipzig 1750. — [14] Buache, Essai de géographie physique, Paris 1752. — [15] Graf Marsigli, Osservazioni intorno al Bosforo tracio, Rom 1701. — [16] Otto, Abriss einer physikalischen Erdbeschreibung, I (Hydrographie), Berlin 1800; Abriss einer Naturgeschichte des Meeres, ebenda 1808. — [17] Maury, The Physical Geography of the Sea, New York 1855; deutsch von Boettger, Leipzig 1856. — [18] Kayser, Physik des Meeres, Paderborn 1873. — [19] Gelcich, Grundzüge der physischen Geographie des Meeres, Wien 1881. — [20] v. Czerny, Zarys geografij fyzicnej oceanu, Lemberg 1877. — [21] Attlmayr-Köttstorfer-Luksch-E. Mayer-Salcher-J. Wolf, Handbuch der Ozeanographie und maritimen Meteorologie (kurzweg als „Handbuch“ bezeichnet), Wien 1883. — [22] J. J. Wild, Thalatta; an Essay on the Depth, Temperature and Currents of the Ocean, London 1877. — [23] Handbuch der nautischen Instrumente, Berlin 1882. — [24] v. Boguslawski-Krümmel, Handbuch der Ozeanographie; I (Räumliche, physikalische und chemische Beschaffenheit der Ozeane), Stuttgart 1884; II (Die Bewegungsformen des Meeres), ebenda 1887. — [25] Krümmel, Der Ozean; eine Einführung in die allgemeine Meereskunde, Leipzig-Prag 1886. — [26] J. Walther, Allgemeine Meereskunde, Leipzig 1893; Bionomie des Meeres, Jena 1893. — [27] Thoulet, Océanographie, I, Paris 1890; II, 1, ebenda, Paris 1896. — [28] Thoulet, Guide d'océanographie pratique, Paris 1895. — [29] Voyage autour du monde par E. Marchand, précédé par les observations sur la division hydrographique du globe et changements proposés dans la nomenclature générale et particulière de l'hydrographie par Cl. Fleurieu, IV, Paris 1800, S. 1 ff. — — [30] Krümmel, Der Ozean, S. 11. — [31] Varenius, Geographia generalis, ed. Is. Newton, Cambridge 1672, S. 138 ff. — [32] Struyck, Inleiding tot de algemeene geographie, Amsterdam 1740, S. 101 ff. — [33] Krümmel, Versuch einer vergleichenden Morphologie der Meeresräume, Leipzig 1879. — [34] Wisotzki, Besprechung hiezu, W. M., VII, S. 120 ff.; Die Klassifikation der Meeresräume; ein Beitrag zur Geschichte der Erdkunde, Stettin 1883. — [35] Krümmel, Versuch etc., S. 14; Der Ozean, S. 13 ff. — [36] Petermann, Atlas of Physical Geography, London 1850. — [37] Wisotzki, Zeitströmungen etc., S. 353 ff. — [38] H. Berger, Geschichte der wissenschaftlichen Erdkunde der Griechen, I, Leipzig 1887, S. 51 ff. — [39] v. Wieser, Magalhaens-Strasse und Australkontinent auf den Karten des Johannes Schöner, Innsbruck 1881. — [40] Ruge, Das unbekannte Südland, D. G. Bl., XVIII, S. 147 ff. — [41] Ortelius, Theatrum orbis terrarum, Amsterdam 1571. — [42] Postellus, Cosmographiae disciplinae compendium, Basel 1561. — [43] Wisotzki, Zeitström. etc., S. 376. — [44] Supan, Grundzüge der physischen Erdkunde, Leipzig 1896, S. 191 ff. — [45] Ackermann, Beiträge zur physischen Geographie der Ostsee, Hamburg 1883, S. 5 ff. — [46] Krümmel, Der Ozean, S. 20 ff. — [47] De quinque zonis Terre Compendium Jo. Coclei Norici in Geographiae introductorium in X capitibus conflatum, Nürnberg 1512. — [48] Forel, Thèses de géographie physique, B. S. V., X, S. 468 ff. — [49] Handbuch etc., I, S. 145. — [50] Kant-F. W. A. Schubert, Schriften zur physischen Geographie, Leipzig 1839, S. 508. — [51] Wisotzki, Zeitströmungen etc., S. 360 ff. — [52] Wisotzki, Die Verteilung von Wasser und Land an der Erdoberfläche, Königsberg i. Pr. 1879. — [53] Piccolomini, De aquae et terrae magnitudine liber unus, Basel 1568. — [54] Humboldt, Kosmos, I, S. 324. — [55] Peschel-Ruge, Geschichte der Erdkunde bis auf C. Ritter und A. v. Humboldt, München 1877, S. 240 ff.; Ruge, Geschichte des Zeitalters der Entdeckungen, Berlin 1881, S. 221 ff. — [56] La composizione del mondo di Ristoro d'Arezzo pubblicata da E. Narducci, Rom 1859, S. 19 ff. — [57] Nicolaus Coppernicus aus Thorn, Ueber die Kreisbewegungen der Himmelskörper, deutsch von Menzzer, Thorn 1879, S. 12. — [58] Wisotzki, a. a. O., S. 18 ff. — [59] Riccioli, Geographiae et hydrographiae reformatae libri XII, Bologna 1661, Fol. 5. — [60] Malte-Brun, Précis de la géographie universelle, II, Paris 1812, S. 166. — [61] Rigaud, On the relative Quantities of Land and Water on the Surface of the Terraqueous Globe, T. C., VI, S. 289 ff. — [62] Dove, Ueber die Verhältnisse des Festen und Flüssigen auf der Erdoberfläche, Z. a. E., (2) XII, S. 111 ff. — [63] Engelhardt, Der Flächenraum der einzelnen Staaten in Europa und der übrigen Länder auf der Erde, Berlin 1853. — [64] B. d. E., VI, Gotha 1880. — [65] Krümmel, Neue Areale für die Meeresräume, Z. w. G., II, S. 72 ff. — [66] Penck, Das Verhältnis des Land- und Wasserareales auf der Erde, M. G. G. W., 1886, S. 193 ff. — [67] Murray, On the Hight of the Land and the Depth of the Ocean, Sc. G. M., IV, S. 1 ff. — [68] Karstens, Eine neue Berechnung der mittlern Tiefe der Ozeane, Kiel 1894. — [69] Supan, a. a. O., S. 23. — [70] H. Wagner, Areal und mittlere Erhebung der Landflächen, sowie der Erdkruste; eine kritische Studie, insbesondere über den Anwendungsbereich der Simpsonschen Formel, B. G., II, S. 667 ff. — [71] Heiderich, Die mittleren Erhebungsverhältnisse der Erdoberfläche, nebst einem Anhange über den wahren Betrag des Luftdruckes auf der Erdoberfläche, Wien-Olmütz 1891; P. G. A., V, 1. — [72] H. Wagner, S. 707 ff. — [73] Ebenda, S. 723 ff. — [74] Supan, S. 193. — [75] H. Wagner, On the Relation between Land and Water, Sc. G. M., XI, S. 185 ff.; P. G. M., XLI, S. 48; P. G. M., XLI, S. 96. — [76] Bode, Anleitung zur allgemeinen Kenntnis der Erdkugel, Berlin 1803, S. 336. — [77] C. Ritter-Daniel, Allgemeine Erdkunde, Berlin 1862, S. 51. — [78] Wisotzki, Zeitström. etc., S. 39 ff. — [79] Plot, De origine fontium, tentamen philosophicum, Oxford 1685. — [80] W. Schmidt, Ueber Dantes Stellung in der Geschichte der Kosmographie, Graz 1876. — [81] Wisotzki, a. a. O., S. 48 ff. — [82] Commentarii collegii Conimbricensis S. J., Lyon 1594, S. 384 ff. — [83] Peschel-Ruge, a. a. O., S. 742. — [84] J. C. Sturm, Physica electiva, II, Nürnberg 1722, S. 231. — [85] v. Boguslawski-Krümmel, I, S. 37. — [86] F. Pfaff, Zur Frage der Veränderungen des Meeresspiegels durch den Einfluss des Landes, Z. d. g. G., XXXVI, S. 1 ff. — [87] Seibt, Das Mittelwasser der Ostsee bei Swinemünde, Berlin 1881. — [88] Palmer, Description of a graphical Registrer of Tides and Winds, P. T., 1831, I, S. 209 ff. — [89] Handbuch etc., I, S. 119 ff., 460 ff. — [90] Stahlberger, Die Ebbe und Flut in der Rhede von Fiume, Budapest 1874. — [91] Sarasin, Limnimètre enrégistreur transportable, A. s. p. n., (3) II, S. 724 ff. — [92] W. Hess, Hydrometrische Instrumente, Würzburg 1884. — [93] Klönne, Die periodischen Schwankungen des Wasserspiegels in den inundierten Kohlenschächten von Dux, Wien 1880. — [94] H. Schubert, Konstruktion der Fadenkurve des verbesserten Seewegintegrators, M. m. G. H., Nr. 23. — [95] Seibt, Das selbstthätige Universalpegel zu Swinemünde, System Seibt-Fuess, Z. J., 1891, S. 351 ff. — [96] Newton-Clarke, Optice, London 1706, lib. II, prop. 1. — [97] A. v. Humboldt-Hauff, Reise in die Aequinoktialgegenden, S. 113. — [98] v. Hasenkamp, Die Farbe der natürlichen Gewässer, G., XXXIV, S. 86 ff. — [99] Wallmann, Farbe der Alpenseen und Alpengewässer, Z. G. E. B., IV, S. 164 ff. — [100] Abegg, Ueber die Farbe der Meere und Seen, N. R., XIII, Nr. 14. — [101] Schwager, Hydrochemische Untersuchungen im Bereiche des unteren bayerischen Donaugebietes, G. J., VI, S. 67 ff. — [102] v. Moltke, Briefe aus Russland, Berlin 1877, S. 50 ff. — [103] Forel, Ricerche fisiche sui laghi d'Insubria, Mailand 1889. — [104] Ule, Die Bestimmung der Wasserfarbe in den Seen, P. G. M., XXXVIII, S. 70 ff. — [105] v. Drygalski, Zur Bestimmung der Meeresfarbe, P. G. M., XXXVIII, S. 286 ff. — [106] J. Davy, On the Coulour of the Rhône, Ed. N. P. J., 1860, S. 214 ff. — [107] Bunsen, Jahresbericht über die Fortschritte der Chemie, I S. 1236 ff. — [108] Beetz, Ueber die Farbe des Wassers, A. P. C., CXV,

S. 137 ff. — [109] Tyndall-G. Wiedemann, Die Gletscher der Alpen, Braunschweig 1898, S. 40. — [110] Ebenda, S. 308. — [111] Soret, Sur la polarisation et la couleur bleue de la lumière réfléchie par l'eau ou par l'air, A. s. p. n., XXXVII, S. 129 ff.; 280 ff., S. 176; XXXIX, S. 352 ff. — [112] Soret, Die Farbe des Wassers, G., XX, S. 397 ff. — [113] Spring, La couleur des eaux, B. A. B., 1883, S. 55 ff.; 1896, S. 246 ff.; H. E., IX, S. 235 ff. — [114] Boas, Beiträge zur Erkenntnis der Farbe des Wassers, Kiel 1881. — [115] v. Hasenkamp, S. 90. — [116] Spring, La couleur etc., S. 65 ff., 84 ff. — [117] Sainte-Claire-Déville, Sur la composition des eaux potables, A. C. P., (3) XXIII, S. 32 ff. — [118] H. C. Vogel, Spektroskopische Untersuchung des Lichtes der blauen Grotte auf Capri, A. P. C., CLVI, S. 325 ff. — [119] Lord Rayleigh, On the Scattering of Light by small Particles, P. M., (3) XIII, S. 81 ff. — [120] Rittau, Johann Reinhold Forsters Bemerkungen auf seiner Reise um die Welt, Hanau 1881, S. 19. — [121] v. Boguslawski-Krümmel, I, S. 176. — [122] Branky, Ueber die Farbe des Roten Meeres, Z. S., IV, S. 244. — [123] Laue, Christian Gottfried Ehrenberg, ein Vertreter deutscher Naturforschung im XIX. Jahrhundert, Berlin 1895, S. 98; A., LVII, S. 39; N. D. S. G. N., XXVIII, S. 17 ff. — [124] Gelcich, Zur historischen Geographie des Schwarzen Meeres, M. G. G. W., 1889, S. 430 ff. — [125] Krümmel, Geophysikalische Beobachtungen der Plankton-Expedition, Kiel-Leipzig 1893. — [126] Secchi, Sur la transparence de la mer, M., 1865, S. 645 ff. — [127] G. P. W., VI, 3, S. 1708. — [128] J. Müller, Lehrbuch der kosmischen Physik, Braunschweig 1875, S. 145 ff. — [129] Supan, Grundzüge etc., S. 217. — [130] Bouguer, Traité d'optique sur la gradation de la lumière, Paris 1760, S. 65. — [131] Lambert, Photometria sive de mensura et gradibus lucis, colorum et umbrae, Augsburg 1760, S. 224. — [132] v. Boguslawski-Krümmel, I, S. 183. — [133] De Agostini, Sulla temperatura, colorazione e trasparenza di alcuni laghi Piemontesi, Turin 1895, S. 18. — [134] De Agostini, Scandagli e ricerche fisiche sui laghi dell' anfiteatro morenico d'Ivrea, Turin 1894. — [135] Fol, Sur l'extrème limite diurne dans les profondeurs de la Mer Méditerranée, C. R., CIX, S. 332 ff. — [136] Ueber das Eindringen des Lichtes in Wasser, A. H. m. M., XVI, S. 416 ff.; N. D. S. G. N., XXX, S. 217 ff. — [137] Forel, Etude sur les variations de la transparence des eaux du Lac Léman, A. s. p. n., LIX, S. 137 ff.; C. R., LXXXIX, S. 859 ff. — [138] Arago-Hankel, Sämtliche Werke, IX, S. 446 ff. — [139] Scoresby, An Account of the Arctic Regions, I, London 1820, S. 173. — [140] v. Jolly, Ueber die Farbe der Meere, J. G. G. M., II, S. 122 ff. — [141] Kretschmer, Die Entdeckung Amerikas in ihrer Bedeutung für die Geschichte des Weltbildes, Berlin 1892, S. 164 ff. — [142] Avienus, Ora maritima, v. 412 ff. — [143] v. Boguslawski-Krümmel, II, S. 429. — [144] A. v. Humboldt, Kritische Untersuchungen über die Geschichte der Geographie des neuen Kontinentes und über die Fortschritte der nautischen Astronomie im XV. und XVI. Jahrhundert, II, Berlin 1882, S. 47 ff. — [145] Merrifield, Gulf-Weed, N., XVIII, S. 709. — [146] Drude, Bericht über die Fortschritte in der Geographie der Pflanzen, W. G. J., IX, S. 205. — [147] Kuntze, Revision von Sargassum und das Sargassomeer, B. J. S. P. P., I, S. 191 ff. — [148] Krümmel, Die nordatlantische Sargassosee, P. G. M., XXXVII, S. 129 ff. — [149] Perthes-Habenicht-Knipping, See-Atlas, Gotha 1894, Nr. 8 und 9. — [150] Supan, S. 218. — [151] Ortmann, Grundzüge der marinen Tiergeographie, Jena 1896. — [152] Chun, Die pelagische Fauna in grossen Meerestiefen, B. Z., 1. Heft, Kassel 1888. — [153] K. Lampert, Fortschritte der Meereskunde, Ntr., 1889, Nr. 22. — [154] Häckel, Planktonstudien, J. Z. N., XXV, S. 232 ff. — [155] Hensen, Ueber Bestimmung des Planktons oder des im Meere treibenden Materiales an Pflanzen und Tieren, Kiel 1887. — [156] Hensen, Ergebnisse der Plankton-Expedition, I, B (Methodik der Untersuchungen), Berlin-Leipzig 1895. — [157] G. P. W., VI, 3, S. 1716. — [158] Humboldt, Ansichten der Natur (Neue Ausg., S. 199). — [159] G. A. Michaelis, Ueber das Leuchten der Ostsee, nach eigenen Beobachtungen, Hamburg 1830. — [160] Laue, a. a. O., S. 175 ff.; Ehrenberg, Ueber das Leuchten des Meeres, Berlin 1834; S. A. B., 1859, S. 727 ff. — [161] Rosenberger, Geschichte der Physik, II, Braunschweig 1884, S. 319. — [162] Rittau, a. a. O., S. 21 ff. — [163] Legentil, Voyage dans les mers de l'Inde, Paris 1779, S. 685 ff. — [164] Moebius, Das Meerleuchten, Hamburg 1861. — [165] Kayser, a. a. O., S. 201. — [166] Th. Studer, Ueber einige wissenschaftliche Ergebnisse der Gazellen-Expedition, namentlich in zoogeographischer Beziehung, V. d. G., 1882, S. 41 ff. — [167] v. Boguslawski, I, S. 179. — [168] Ein gespenstisches Meerleuchten, G., XVIII, S. 746 ff. — [169] Aussergewöhnliches Meerleuchten, A. H. m. M., XVIII, S. 57.

Kapitel II.

Physiographie der Meeresbecken.

§. 1. **Das unterseeische Landschaftsbild.** Als wir früher (I, S. 43) das Wort Physiographie als Bezeichnung für die in diesem Buche behandelte Disziplin zurückwiesen, da liessen wir uns von dem Gedanken leiten, dass Beschreibung und Erklärung nicht von einander getrennt werden könnten, dass jenes Wort also zu wenig besage. In diesem Kapitel nun tritt das kausale Element ganz gegenüber dem deskriptiven zurück, und insofern durfte mit vollem Rechte von Naturbeschreibung gesprochen werden. Wir werfen nämlich die Frage auf: Wie würde der Meeresgrund aussehen, wenn plötzlich das ihn bedeckende Wasser verschwände?

Eine hinter uns liegende Zeit war der Meinung, zwischen der Physiognomie des Meeresbodens und dem Antlitz der Erde werde kein erheblicher Unterschied obwalten, man werde vielmehr hier und dort gleichmässig Berge, Thäler und alles sonstige Zubehör der Landoberfläche wahrnehmen. Die Gebirge galten als das Gezimmer der Erde, wie C. Ritter [1] die „charpente“ Buaches [2] übersetzte, aber schon früher hatte, wie Wisotzki [3] bemerkt hat, Lionardo da Vinci die zu Gebirgen geordneten Felsmassen als die Knochen des Erdkörpers charakterisiert, und A. Kircher (I, S. 16) begründete [4] eine selbständige Auffassung vom Beingerüste der Erde („Ossatura Globi“). Die Gebirgsketten durchzogen auch die Meere; „der Meeresboden ist immer bergig gewellt dargestellt“ [5]. Die Ansichten Buaches, wie sie sich namentlich auf seiner „Karte der Seegebirge“ zum Ausdruck gebracht vorfinden [6], wurden durch Buffons [7] klassische Sprache weit verbreitet, und selbst Humboldt, v. Buch, Zeune konnten sich nach Peschels Hinweisen [8] dem bestechenden Eindrucke jener bequemen geoplastischen Darstellung nicht entziehen. „Das nächste halbe Jahrhundert,“ sagt Wisotzki [9] zutreffend, „nahm in seiner aprioristischen Konstruktionslust und Systemsucht mit Freuden Buaches Ideen auf“; Büsch, Kant, Gatterer, Pallas, Bergman, Otto, Lacépède und viele andere traten auf den gleichen Boden, bis dann — wiederum den genauen, quellenmässigen Mitteilungen Wisotzkis [10] zufolge — v. Holbach, Desmarest und vor allem Fr. Schultz [11] jenen geometrischen Phantasmen, die später in Elie de Beaumonts Gebirgsdodekaëder [12] ein Nachspiel erleben sollten, scharf zu Leibe gingen. Auch der vielfach verdiente Marburger Geograph Börsch [13] darf nicht vergessen werden, weil er in seinem Versuche einer vergleichenden Oberflächenkunde (s. u. in Abteil. VIII, Kap. II) den richtigen Satz aufstellte [14]: „Gebirge, welche sich an der Meeresküste endigen, können mit denjenigen, welche in der nämlichen Richtung auf einer Insel oder in einem anderen Erdteile liegen, als zusammenhängend nicht angesehen werden.“

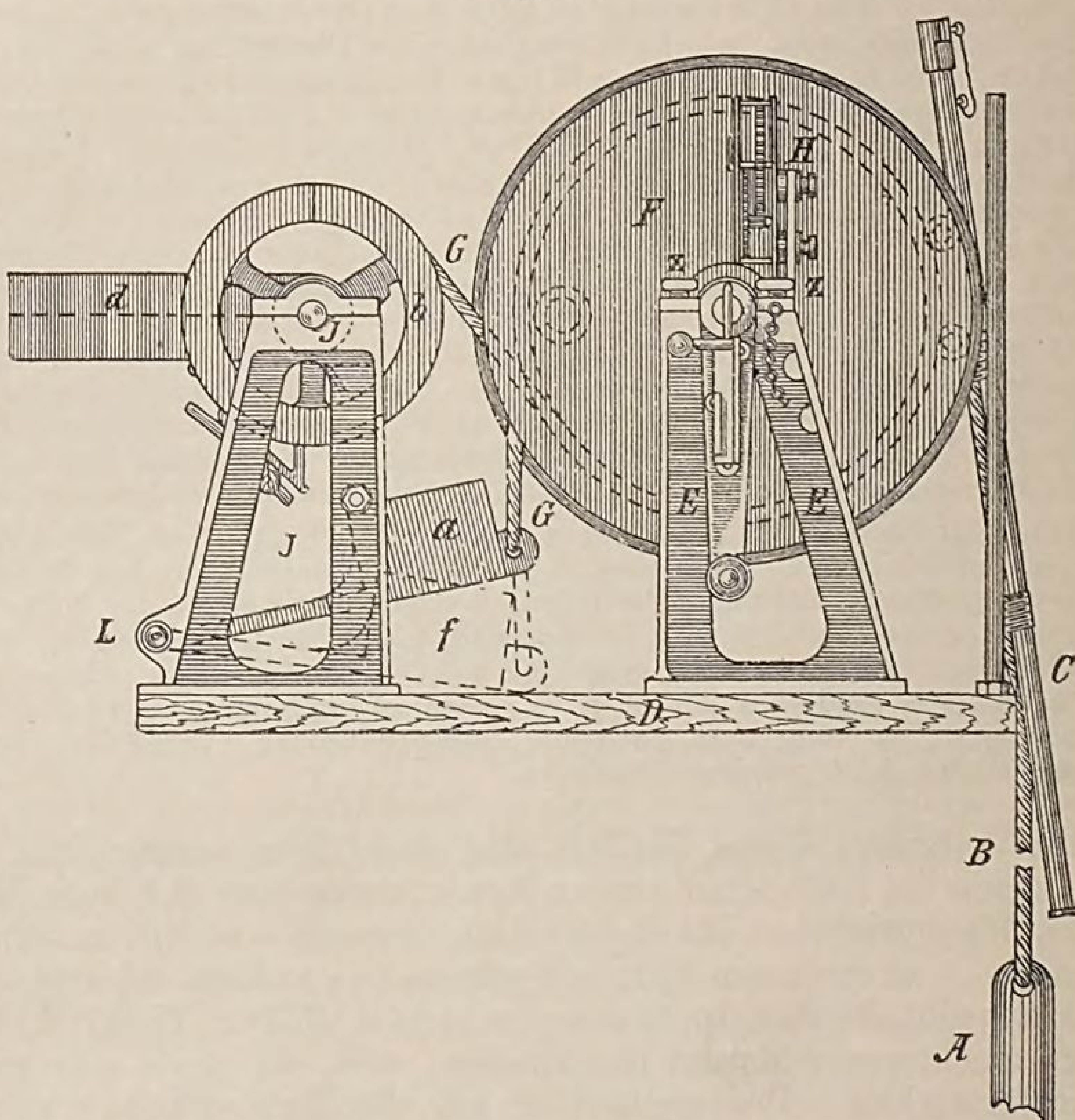
Auf theoretischem Wege ist gegen solche Bestrebungen, die Natur zu meistern, nicht aufzukommen. „Die Gestalt des Meeresgrundes kann nur durch zahlreiche, dicht gedrängte Lotungen festgestellt werden,“ so äussert sich Penck [15] im Eingange seiner erschöpfenden Charakteristik des Landschaftsbildes, welchen der von Wasser befreite Seeboden gewähren würde. Die Lotungen geben ja nicht bloss Absolutwerte, sondern wenn sie nach einem festen Prinzipe recht häufig vorgenommen sind, so kann man auch die topographischen Verhältnisse des ausgeloteten Bezirkes kartographisch festlegen.

Die Aufgaben dieses Kapitels sind damit klar umschrieben. Wir müssen zuerst die Hilfsmittel kennen lernen, deren man sich beim Messen grösserer Wassertiefen — für die der Binnengewässer verhält es sich nicht viel anders — zu bedienen hat; wir müssen uns sodann mit dem Stande unseres augenblicklichen bathometrischen (βάϑος, Tiefe) Wissens vertraut machen und darauf untersuchen, wie, da doch eine gewisse Ungleichförmigkeit selbstverständlich ist, die Reliefböschung sich gestaltet. Auch kann, wenn der Landschaftscharakter klar erfasst werden soll, ein Blick auf die Oberflächenbeschaffenheit des Meeresgrundes nicht umgangen werden, zu deren Erkundung es auch wieder besonderer Verfahrungsweisen bedarf.

§. 2. **Bathometrische Methoden.** Erst seit etwa drei Jahrhunderten kann von einem rationellen Betriebe der Tiefenmessung die Rede sein; bathometrische Appparate oder, wie man auch sagt, Tiefensonden, treten uns erst im XVI. Jahrhundert entgegen. An anderer Stelle ist eine umfassende Uebersicht über die instrumentellen Vorrichtungen zu geben versucht worden [16]; nächstdem sind eine Abhandlung von Wolkenhauer [17], sowie die umfassenden Angaben bei v. Boguslawski [18], in dem kleineren Kompendium von Krümmel [19] und noch mehr in den Admiralitätshandbüchern [20] zu Rate

zu ziehen. Wenn wir uns in die Methodik der Sondierung einen Einblick verschafft haben, so erkennen wir, dass vier Gesichtspunkte im Laufe der Zeiten hervorgetreten und zur praktischen Verwertung gelangt sind. Man kann nämlich direkt loten, wie es der natürlichste Gedanke ist; man kann durch Anbringung einer Auslösungsvorrichtung die Genauigkeit der Auslotung zu erhöhen suchen; man kann das in der Meteorologie (Kap. II, §. 4, 7, 12) erprobte Prinzip der automatischen Registrierung auch auf die Tiefenlotung übertragen; es gibt endlich auch Mittel, um indirekt, ohne sich mit dem Grunde

Fig. 77.

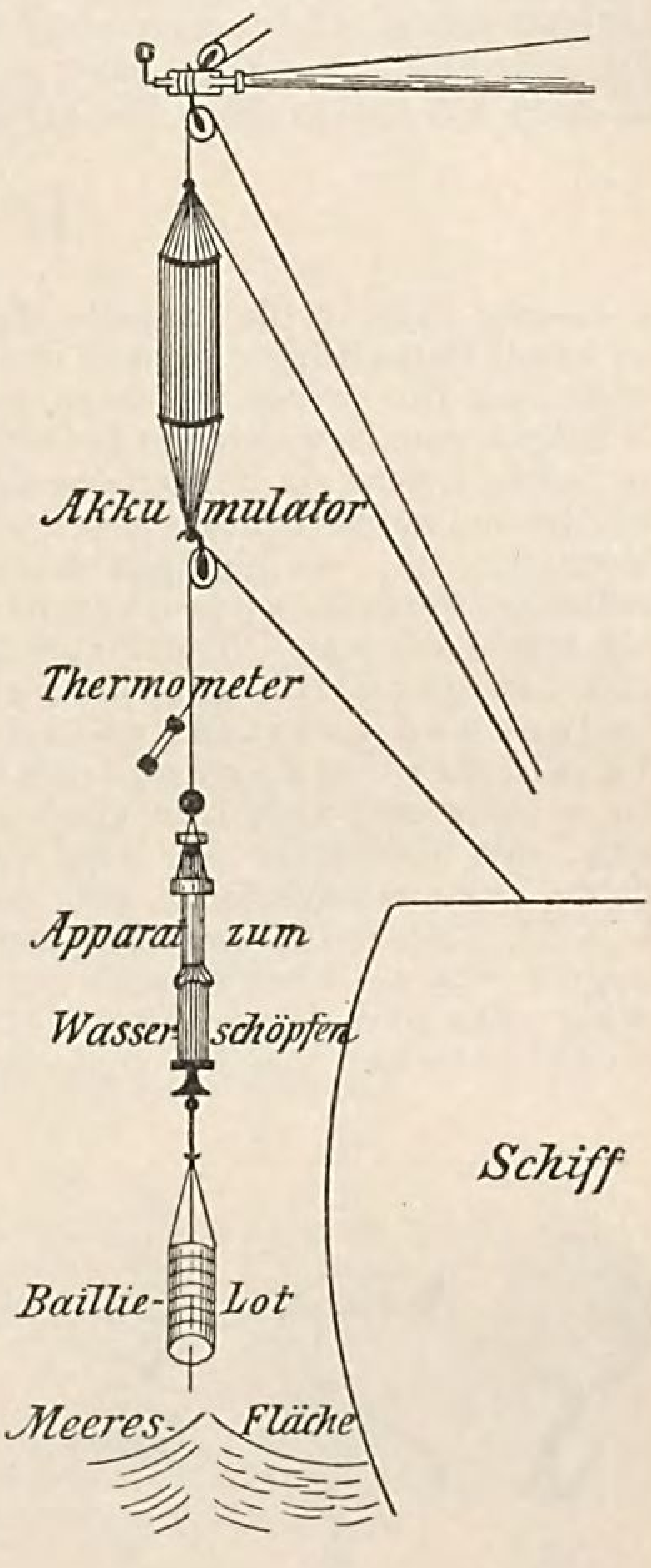


der See in unmittelbare Beziehung gesetzt zu haben, die ungefähre mittlere Tiefe eines Meeresbeckens zu ergründen. Diese Vierteilung, eine Folge des geschichtlichen Werdens, regelt auch die weitere Einteilung des gegenwärtigen Paragraphen.

a) Direkte Auslotung. An einer Leine, oder, falls diese sich als zu schwach erweisen sollte, an einem Drahte wird ein schwerer Körper, Lot oder Senkblei genannt, in das Wasser hinabgelassen; der Augenblick, in welchem der Tauchkörper den Boden berührt, wird vermerkt, und wenn derselbe sodann unverzüglich heraufgezogen oder heraufgewunden wird, so gibt die nass gewordene Teilstrecke der Schnur u. s. w. ohne weiteres die gesuchte Tiefe. Die Messung wird erleichtert, wenn durch gleichabständige Zeichen, eingeknüpfte Knoten od. dgl. sofort eine Uebersicht bis auf einen kleinen Bruchteil sich ermöglicht. Für Flüsse, Binnenseen und seichte Meere genügt eine einfache, von F. Pfaff [21] beschriebene Sicherheitsmassregel, um ein genau lotrechtes Einsinken der von einer Rolle sich

abwickelnden Leine zu gewährleisten. Handelt es sich aber um namhafte, um echt pelagische (πέλαγος, Tiefsee) Tiefen, so tritt W. Thomsons (Lord Kelvins) Patentlot oder Lotmaschine aushelfend ein [22]. Da starker Wasserdruck die Kohärenz der Hanffasern selbst starker Taue vernichtet, so wird Klaviersaitendraht („Pianoforte Wire") als Träger des Lotes verwendet. Wenn wir nachstehend auf den Lotapparat (Fig. 77) näher eingehen, so handeln wir allerdings zunächst nur von den zur Einsenkung des Lotkörpers dienenden Mechanismen, während die Registriervorrichtung erst weiter unten zur Sprache kommen kann. A ist das Senkblei, B der Draht oder das Seil, C die jene Vorrichtung bergende Hülse, D das Lager, mittelst dessen das Ganze auf dem Schiffsverdecke befestigt ist, E der die grössere Rolle F tragende Bock, und auf F ist der Draht aufgewickelt. Die Bremsvorrichtung ist ähnlich eingerichtet; G rollt als Bremstau gleichzeitig von der Rolle b ab und wickelt sich auf einer zu F konzentrischen kleineren Trommel auf. Der Bock J (mit d) stabilisiert die zum Bremsen dienenden Teile der Maschine, indem das andere Ende des Bremstaus G mit dem Gewichte a verbunden ist. Dasselbe ist um den Punkt L drehbar und kann, wie die gestrichelten Linien zeigen, in die Lage f gebracht werden. Bei H endlich ist die Zählmaschine angebracht, welche in bekannter Weise durch Zahnräder Z die Anzahl der Umdrehungen der Trommel registriert. — Nach anderen Seiten hin haben Belknap [23] und Sigsbee [24] die Sondierarbeit vervollkommnet; durch letzteren wurde sie [25] „auf eine Stufe der Vollkommenheit gebracht, welche noch vor zwanzig Jahren als unerreichbar erschienen wäre". An der grossen Raa ist durch den sogenannten Patentblock der Akkumulator befestigt, dessen Einrichtung Jeffreys uns kennen gelehrt hat [26]; derselbe verbürgt den lotrechten Ablauf des Drahtes, an welchem alle die zur physikalischen Erforschung der Meere notwendigen Apparate hängen; vgl. Fig. 78. Bei der Dauerhaftigkeit des genannten Drahtes, der noch nicht 1 mm dick zu sein braucht und gleichwohl eine sehr grosse Tragkraft bethätigt, dabei auch nicht teuer ist, da 1850 m nur eine Mark kosten [27], ist die Sicherheit des Lotens jetzt eine ganz andere denn früher geworden. Der Ersatz der Schnur durch Eisendraht ist allerdings schon 1849 von Mooney in Anregung gebracht worden [28], allein damals drang die Idee noch nicht durch, und erst als Thomsons Abwickler bei den Reisen der „Tuscarora" seine Probe glänzend bestanden hatte, fand auch erstere allgemeinen Anklang. Jene Anordnung der Bremse, welche aus Fig. 77 zu ersehen ist, und welche bewirkt, dass die Abwickelung in dem Augenblicke durch Sinken des Gewichtes von a nach f stoppt, wenn A den Boden berührt hat, hat eine detaillierte Schilderung in einem von White [29] herrührenden Aufsatze gefunden.

Fig. 78.



b) Auslösungsvorrichtungen. Man kann das Senkblei auch mit einem spezifisch leichten Körper verbinden, der sofort, wenn ersteres am Grunde angelangt ist, sich abtrennt und nach oben zurückkehrt. Da der Ort, an welchem er die Oberfläche wieder erreichen soll, genau mit demjenigen, von welchem er ausging, zusammenfallen müsste, so kann man, falls er sich anderswo zeigt, sofort darauf schliessen, dass Strömungen die Richtung seines Weges abgeändert haben müssen. Uebrigens lässt sich die Möglichkeit, mittelst einer Auslösungsvorrichtung

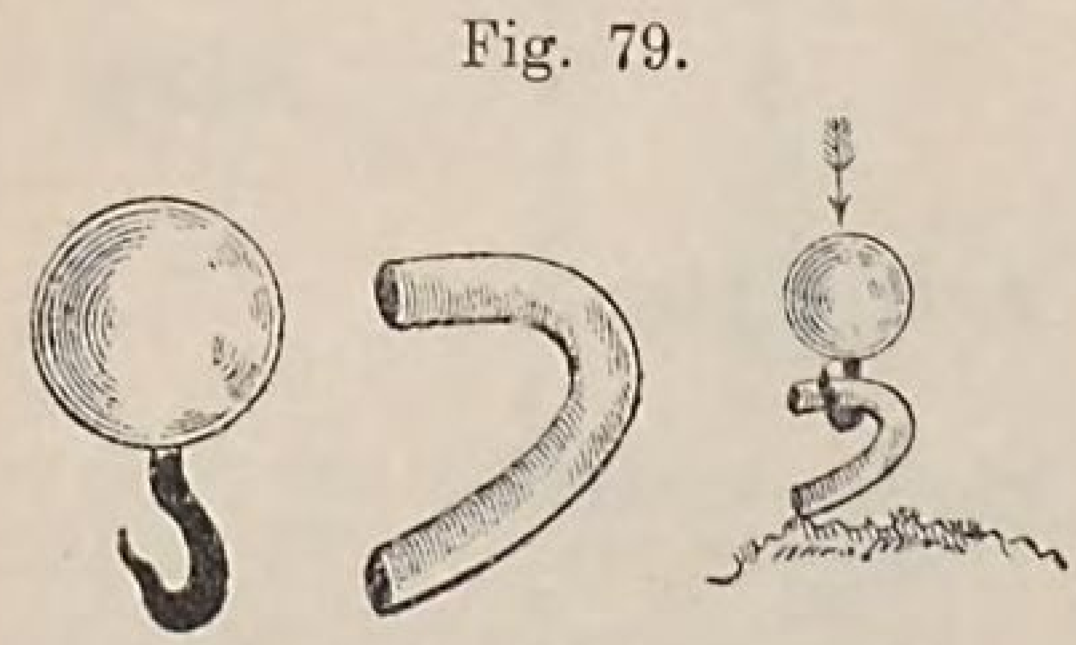
die Tiefe zu bestimmen, wieder als eine doppelte denken: Man kann aus der Zeit, welche der leichte Körper von seinem Eintauchen bis zu seinem Wiedererscheinen braucht, rechnerisch auf die erreichte Tiefe schliessen, oder man kann die Trennung der beiden vereint untersinkenden Körper bloss als Mittel zu dem Zwecke benützen, dass das Wiederaufwinden — und zugleich das Aufholen von Grundproben — erleichtert werde. Beide sehr verschiedene Bestimmungen der Auslösung werden am besten gesondert betrachtet.

α) Von dem Wesen des ersterwähnten Verfahrens kann man sich am leichtesten ein Bild machen, wenn man sich der bekannten physikalischen Aufgabe erinnert, aus der Zeit, welche vom Fallenlassen bis zum Aufschlagen eines Steines verfliesst, die Tiefe eines Brunnens zu berechnen. Die Zeit t zerfällt in die Zeit t_1, welche der Körper zum Falle selbst braucht, und in die Zeit t_2, welche der Schall braucht, um den Weg x zurückzulegen. Wenn die Geschwindigkeit des Schalles (in der Sekunde) a Meter beträgt, so ist $x = \frac{1}{2} g t_1^2$ und andererseits $x = a t_2$, unter g die Fallbeschleunigung (I, S. 181) verstanden, und man hat mithin für x die Gleichung ($t_1 + t_2 = t$):

$$\sqrt{\frac{2x}{g}} + \frac{x}{a} = t.$$

In unserem Falle ist die doppelte Wassertiefe zusammengesetzt aus dem Wege, den der kombinierte Körper abwärts und der leichte Körper aufwärts zurückzulegen hat; wollte man also strenge verfahren, so müsste man zuerst die Zeit t_1 aufsuchen, welche ein Körper vom Gewichte des Lotes im widerstehenden Medium abwärts, und hierauf die Zeit t_2, welche ein Körper, dessen Dichte geringer als Wasser ist, im widerstehenden Medium aufwärts nötig haben würde, um zuletzt wieder, wenn t die verstrichene Gesamtzeit ist, von der Gleichung $t_1 + t_2 = t$ Gebrauch zu machen. Die betreffenden Formeln approximativ herzustellen, wäre möglich, allein der Erfolg würde die ziemlich mühsame Rechnungsarbeit nicht lohnen. Erstens nämlich ist gänzlich strömungsloses Wasser nur ausnahmsweise zu finden, und zweitens wäre der aufsteigende Körper in sehr tiefem Wasser der Gefahr des Zusammengedrücktwerdens ausgesetzt. — Für so schwierig hielt man ehedem die Sache freilich nicht. Die erste Anregung dazu, den Sinkkörper aus zwei Teilen von sehr verschiedenem spezifischem Gewichte zusammenzusetzen, gab der bekannte Kardinal Nikolaus von Cusa (I, S. 72, 235), dessen zunächst Manuskript gebliebene Schrift der Baseler Vitruv-Ausgabe von 1543 beigedruckt worden ist [30]. Mehr Aufsehen machte ein Vorschlag, den nach Blancanus [31] ein gewisser Alberti in seinem Buche „De architectura" machte, und dessen auch Varenius [32] gedenkt, der aber vielleicht gar nicht originell ist, weil er wesentlich in derselben Form bereits bei Puehler [33], einem deutschen Geometer des XVI. Jahrhunderts, sich findet; inwieweit der damals gemachte Versuch, den Traun-See auszuloten, geglückt war, vermögen wir heute nicht mehr zu übersehen. Das einfache Instrument Albertis bildet Fig. 79 ab; a ist die schwere Kugel, die unten einen Haken zur Einhängung der leichten Röhre b trägt, und bei c sehen wir die Kombination in dem Zeitpunkte vor uns, da sich die Teile zu trennen im Begriffe stehen. Zur praktischen Benützung soll man in einem Gewässer von bekannter Tiefe p_1 mittelst einer Wasseruhr — eine solche ist auch bei Puehler vorgesehen — die Zeit t_1 messen, welche zwischen Ein- und Wiederauftauchen vergeht; ergibt sich dann bei einem Gewässer von der unbekannten Tiefe p ein Zeitintervall t, so hat man die Proportion $p : p_1 = t : t_1$. Es braucht kaum betont zu werden, dass diese freilich bequeme Rechnung auf völliger Verkennung der — damals auch noch dem Scharfsichtigsten verborgenen — Schwierigkeiten des Problemes beruhte. Hookes „Explorator abyssi" (Tiefenerforscher), dessen Beschreibung Denhams Sammlung brachte [34], und die von Bacialli und Molinelli zu leichterer Trennung der Bestandteile empfohlene [35] Zange führten nicht wesentlich weiter, und auch die

Fig. 79.

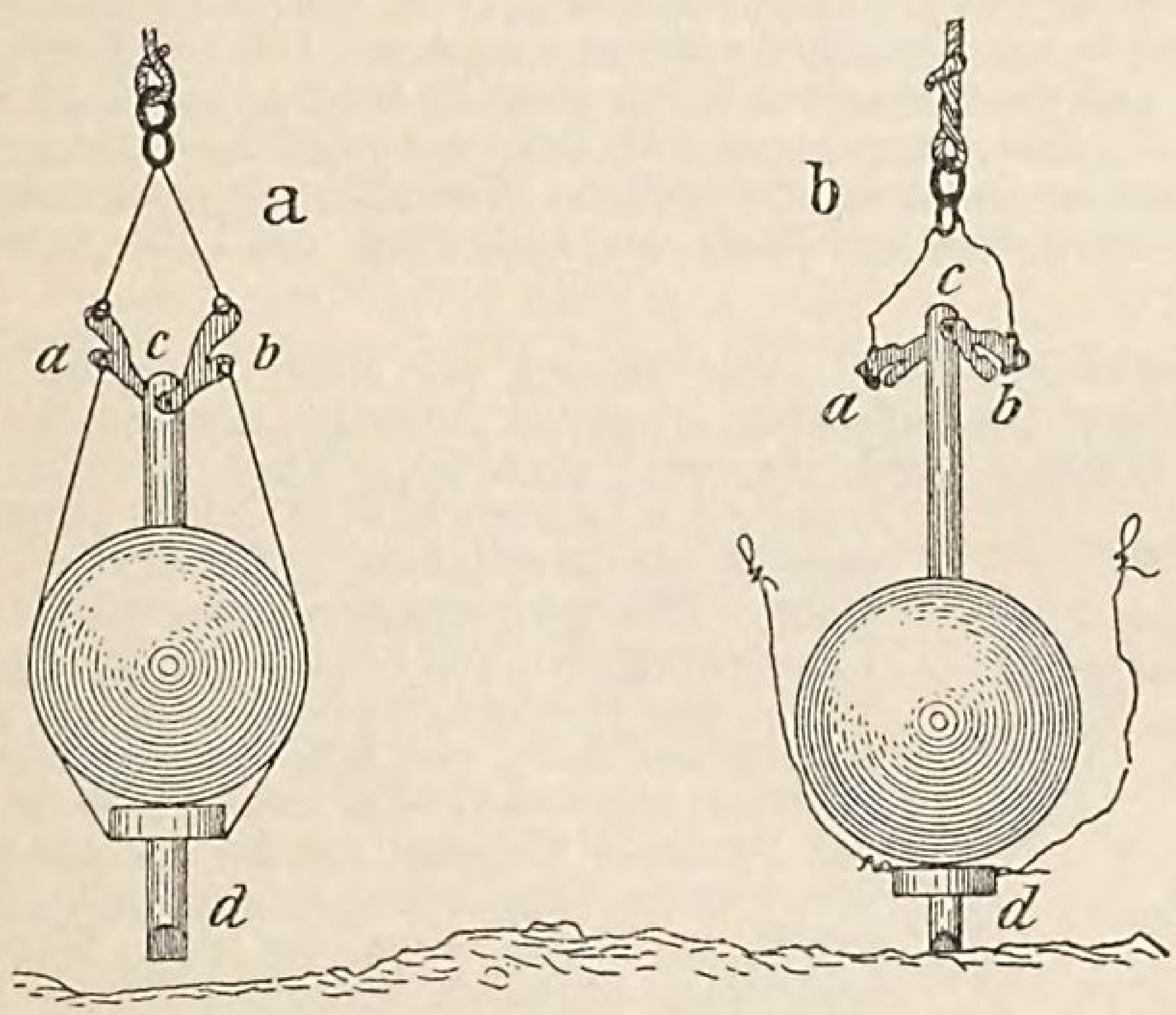


a b c

ihrer Zeit viel besprochene „Tiefensonde" des Holländers Stipriaan Luiscius [36], deren Eigentümlichkeit dem deutschen Physiker Gilbert Stoff zu einer bemerkenswerten Erörterung lieferte [37], konnte ebensowenig wie Aimés Bathometer [38] sich eine allgemeinere Verwendung erwerben. Dagegen ist der „Seekuckuck" von Konitzky [39] insofern ein nützlicher Zusatz, als er sich auch zur Anbringung an den unter β) zu schildernden Tauchkörpern eignet; sowie dieselben wieder an freier Luft erscheinen, macht ein Explosionssignal den Beobachter aufmerksam.

β) Seit 1854 hat sich, dank dem amerikanischen Midshipman Brooke [40], die zweite der oben skizzierten Lotungsmethoden mit Auslösung einen Ehrenplatz in der Bathometrie erworben. In Fig. 80a sehen wir den hinabsinkenden, in Fig. 80b den gerade aufstossenden Brookeschen Apparat. Die schwere (Kanonen-) Kugel ist achsial durchbohrt durch den leichten Stab, bei dessen Auftreffen die bisher von der Leine nach oben gerichteten, um c drehbaren Haken a und b umklappen; die bisher festgehaltene Kugel fällt herab und geht natürlich verloren, wogegen der Stab von der Leine mit nach oben genommen wird. Der Hydrasinker, den Baillie angab [41], „trägt statt der eisernen Kugel ein aus meh-

Fig. 80.

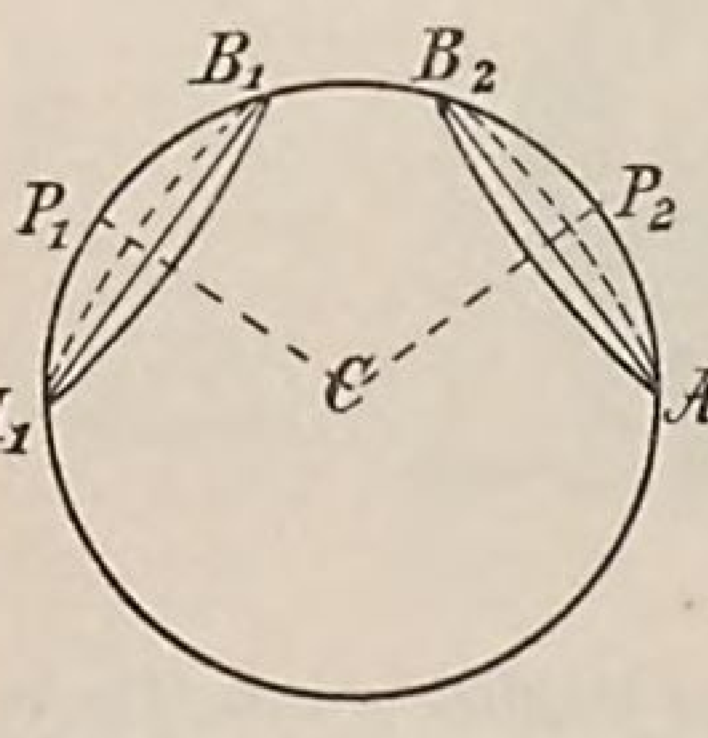


reren Ringen zusammengesetztes Sinkergewicht, wodurch es möglich wurde, für verschiedene Tiefen verschieden schwere Gewichte (bis zu 7 Zentnern) zu nehmen"; diese Anordnung hat sich bei einigen der wichtigsten Forschungsreisen vorzüglich bewährt. Endlich ist auch Sigsbees (s. o.) Tieflot als eine sehr geistvolle und zweckdienliche Verbesserung des ursprünglichen Brookeschen Mechanismus hervorzuheben. — Der Verlust des Senkkörpers ist allerdings zu bedauern, doch scheint es nicht, als ob Emsmanns Vorschläge [42], diesen Uebelstand zu vermeiden, in den Kreisen der seemännnischen Praxis sich Beifall erworben hätten.

c) Registrierapparate. Obwohl für Tiefseelotungen die unter a) und bβ) gekennzeichneten Apparate unbedingt die Vorherrschaft behaupten, dürfen doch auch die Registrierinstrumente nicht gering geschätzt werden; schon deshalb nicht, weil sie ja nicht auf Bodenberührung eingerichtet sind, mithin stets die Maximaltiefe, bis zu welcher sie eingetaucht haben, angeben. Die Grundidee, welche bei sämtlichen Tiefenregistratoren fast ohne Ausnahme wiederzuerkennen ist, kennen wir bereits als die des Aneroidbarometers (Kap. I, §. 6). Wenn Gilbert (s. o.) recht hat, so geht der Plan, Wassertiefe durch Kompression eines Gegenstandes — vorab der Luft — zu messen, auf Hales und Desaguliers zurück; man könnte auch von Tiefenmanometern sprechen. Ein brauchbares Werkzeug dieser Art

hat anscheinend Morse zuerst konstruiert [43]. Die Formeln, welche aus dem stattgehabten Drucke die Tiefe an der betreffenden Stelle zu berechnen gestatten, entwickelte Rühlmann [44] in voller Allgemeinheit. Schreiber [45] setzte direkt, wie beim Federbarometer, gewellte Lamellen dem Drucke aus, indem er zugleich für photographische Fixierung des erreichten Zeigerstandes Sorge trug; an die Stelle der Platten liessen Hopfgartner und Arzberger die Dose treten [46]. Das Rheobarometer (ῥεῖν, fliessen) von Stahlberger [47] verfolgt den zwiefachen Zweck, Richtung und Geschwindigkeit der Strömungen im Wasser zugleich mit der Tiefe zu ermitteln. Auch diese Instrumente sind jedoch sämtlich, wenn der Wasserdruck eine gewisse Grenze überschreitet, der Gefahr ausgesetzt, durch die Pressung starke Deformationen zu erleiden, während sie sich z. B. in den geringeren Tiefen der Adria gut bewährt haben. Am sichersten scheint die oben angezogene chemische Registrierung der Thomsonschen Lotmaschine (S. 397) zu sein. Die Hülse C (Fig. 77) enthält ein nach unten offenes Rohr, das mit Luft gefüllt ist, so dass das eindringende Wasser niemals die ganze Röhre ausfüllen kann. Letztere ist inwendig mit chromsaurem Silber ausgekleidet, und diesem Stoffe kommt die Eigenschaft zu, durch die Berührung mit Luft eine rote, durch die Berührung mit Seewasser eine weisse Färbung anzunehmen. Zieht man dann die Hülse in die Höhe, so gibt die weiss gewordene Wandung die Höhe des eingedrungenen Wassers an; aus ihr folgt die Luftkompression und aus dieser sodann die erreichte Tiefe. Durch empirische Gradteilung lässt sich natürlich jede Zwischenrechnung umgehen. Das Schiff schleppt die Röhre hinter sich her, und wenn dann der Boden gestreift wird, hat man, zu wechselseitiger Kontrolle, zwei Tiefenbestimmungen: die aus der Anzahl der Trommelumdrehungen und die aus der Ausdehnung der weissen Wandfärbung erschlossene. Nur kam es schon öfter vor, dass der Ruck des Auftreffens die Hülse C vom Patentlote loslöste.

Fig. 81.



d) Indirekte Schätzung. Hier kommt vor allem Siemens' Bathometer in Betracht, dessen Beschaffenheit schon bei früherer Gelegenheit (I, S. 169) erörtert werden musste; durch ihn wird nach Möglichkeit erreicht, was dereinst Hooke (s. o.) anstrebte, als er seinen „Explorator abyssi" zugleich als „Explorator gravitationis" wirken lassen wollte. Wie das geschehen kann, erhellt aus folgender Ueberlegung. C (Fig. 81) sei der Mittelpunkt der Erdkugel, von welcher durch die beiden gleich grossen Kugelkreise $A_1 B_1$ und $A_2 B_2$ zwei kongruente räumliche Kalotten abgetrennt sein mögen. Je in den Polen P_1 und P_2 dieser Kalotten sei das Bathometer aufgestellt. Wenn beide Kugelsegmente gleichmässig mit Masse m erfüllt sind, und wenn die nach Wegnahme beider noch übrig bleibende Masse der Erde μ genannt wird, so wirken beziehungsweise auf P_1 und P_2 attraktiv die Massen $(m + \mu)$; der Stand des Bathometers muss also in beiden Fällen der gleiche sein. Denken wir uns dagegen für Segment $A_1 B_1 P_1$ die vorige Massenerfüllung beibehalten, an die Stelle von m im Segmente $A_2 B_2 P_2$ jedoch eine Masse m' ($< m$) getreten, so wird jetzt bei P_1 eine Masse $(m + \mu)$, bei P_2 aber nur eine Masse $(m' + \mu)$ wirken; die Attraktion, welche den in P_2 aufgestellten Schweremesser beeinflusst, ist geringer als jene, welche sich bei P_1 geltend macht, und folglich wird das Wellblech, welches in seinen Verbiegungen die Anziehungsdifferenzen wiedergibt, bei P_2 weniger stark als bei P_1 eingedrückt erscheinen. Sofern Wasser im allgemeinen spezifisch leichter als Festland ist, wird über der Wasserkalotte $A_2 B_2 P_2$ eine geringere Anziehung als über $A_1 B_1 P_1$ zu konstatieren sein, und zwar wird sich die Gravitationsdifferenz um so mehr fühlbar machen, je grösser die Höhen (oder Sagitten) der Kugelhauben sind, je tiefer also unter P_2 das Meer ist. Zwar wird ja das Meeresbecken nicht gerade die genaue Gestalt eines sphärischen Segmentes haben, allein in erster Annäherung dürfen wir diese Körperform wohl der rechnerischen Betrachtung zu Grunde legen. Wir bestimmen die Grösse der Attraktion einer Raumkalotte, vergleichen sie mit der Grösse der von einer homogenen Kugel ausgeübten Attraktion und erhalten dadurch die Möglichkeit eines Rückschlusses auf die Mächtigkeit der Wasserkalotte. — Im Anschlusse an eine von Siemens selbst ausgegangene Berechnung [48] setzen wir die Anziehung, wenn Δ die Dichte der Masse, h die

Höhe des Segmentes darstellt, R aber den Erdradius bedeutet, und wenn auch der ganze Erdball von Masse gleicher Dichte erfüllt gedacht wird, gleich

$$A_1 = 2\pi \Delta h \left(1 - \frac{2}{3}\sqrt{\frac{h}{2R}}\right).$$

R ist gegen h so gross, dass dafür ohne namhafte Fehler $2\pi\Delta h$ gesetzt werden kann; mit dieser Kraft wirkt das Kugelsegment, in der Richtung der Höhe, auf einen materiellen Punkt, welcher sich im sphärischen Pole des Grenzkreises befindet. Die Gesamtanziehung A der Erde, in gleicher Richtung auf denselben Punkt ausgeübt, ist gleich $^4/_3 R^3 \pi \Delta : R^2 = {}^4/_3 R \pi \Delta$. Somit besteht die Proportion

$$A : A_1 = {}^4/_3 R \pi \Delta : 2\pi h \Delta = 2R : 3h.$$

Wäre das Meerwasser gewichtslos, so würde sich die Erdanziehung, gemessen an der Meeresfläche, im Verhältnis $h : {}^2/_3 R$ vermindern; nimmt man aber, wie es sein muss, auf das Gewicht des Wassers Rücksicht, so findet man eine Verminderung der Schwere am Meeresniveau nach dem Verhältnis h : 1,06 R, was von h : R nicht sehr weit differiert. Man ersieht hieraus, dass der Stand der Füllflüssigkeit in der auf die gewellte Stahllamelle aufgesetzten Messröhre eine gewisse Berechnung des Verhältnisses h : R, auf das es ankommt, ermöglicht. — Bisher ist das Siemenssche Bathometer für den Zweck, dem es in erster Linie dienen soll, noch wenig benützt worden, doch möchten die Beobachtungen auf dem „Faraday", welchen Krümmel [49] eine Besprechung gewidmet hat, dafür sprechen, dass, wenn es nicht auf Einzeltiefen, sondern mehr auf Mitteltiefen ankommt, auf diese Weise ganz befriedigende Durchschnittszahlen erhalten werden, so dass man, zumal bei Projektierung von Kabellegungen, häufiger auf die Siemenssche Methode zurückkommen sollte. — Auch eine andere Schätzung will lediglich zu mittleren Tiefen verhelfen, weshalb wir ihr ihren Platz in §. 4 anweisen.

Jede Tiefenbestimmung hat nur dann wirklichen Wert, wenn man möglichst genau den Ort kennt, für welchen sie unternommen wurde. Auf freier See wird, wenn die übliche Näherungsrechnung durch Kurs (Kompass) und Distanz (Log) nicht hinlänglich genau erscheint, eine vollständige Ortsbestimmung nach Länge und Breite wünschenswert sein. Leichter hilft man sich auf kleineren Binnenseen (s. unten in Abteil. VIII, Kap. IV). Ueberall da, wo man Fixpunkte am Ufer ins Auge zu fassen vermag, gewährt das — hiefür viel zu wenig verwertete — Pothenotsche Problem (I, S. 303) die besten Aussichten auf Genauigkeit. Scharfe Rechnung ist kaum erforderlich; wenn man sich an das von den schweizerischen Ingenieuren Horner und Denzler — auch an der Nordseeküste — erprobte Verfahren [50] hält, die vom Boote aus gemessenen zwei Richtungswinkel auf durchsichtigem Papiere zu verzeichnen und nun dieses so lange zu verschieben, bis die drei Schenkel durch je einen Eckpunkt des im voraus in verjüngtem Masstabe gezeichneten Fundamentaldreieckes hindurchgehen, so kann man rein graphisch eine ganz respektable Ortsbestimmung erzielen.

§. 3. **Uebersicht über die gemessenen Meerestiefen.** Die da und dort verstreuten Notizen der Alten, die wohl durchweg nicht auf wirklicher Messung beruhen, hat Humboldt [51] gesammelt; neben manch Monströsem fand er bei Plutarch relativ richtige Vermutungen, die für das Mittelländische Meer so ziemlich zutreffen. Auch das Mittelalter war nicht weiter gekommen, doch enthält das dem XV. Jahrhundert entstammende „Seebuch" [52], nach dessen Anweisungen sich die Hanseaten richteten, manche auf Lotung sich stützende Angaben von Tiefen nordeuropäischer Küstengewässer. Die erste, freilich miss-

glückte Sondierung auf hoher See wurde von Magalhaēns in der Südsee versucht [53]. Gewöhnlich bildet die Masseinheit bis tief ins XIX. Jahrhundert herein der Faden (= 1,83 m). Durch die Polarfahrten, welche seit 1820 immer häufiger und zugleich immer rationeller ins Werk gesetzt wurden, gewann die Lotung unausgesetzt an Bedeutung, wie an Zuverlässigkeit; aber erst mit Maurys Auftreten wurde — ebenso wie die maritime Meteorologie (S. 358) — auch dieser Teil der physischen Geographie mehr systematisch in Angriff genommen. Es traf sich glücklich, dass zeitlich damit die ersten Versuche zur Herstellung grosser unterseeischer Telegraphenleitungen zusammenfielen.

Hierüber handelt v. Jolly [54], dessen Bemerkungen wir folgen. Im Jahre 1853 machte Berryman die ersten Sondierungen auf der von den Handelsschiffen regelmässig benützten Strasse zwischen Irland und Nordamerika und fand ein unterseeisches Plateau, später bezeichnend Telegraphenplateau benannt, dessen Abstand vom Meeresspiegel auf eine Entfernung von 400 geogr. Meilen zwischen 3000 und 4000 m schwankte. Der Engländer Dayman fand auf dieser weit ausgedehnten Strecke nur an zwei Orten festen Grund vor, sonst überall Schlamm. Bald nachher gingen die einzelnen Kulturnationen daran, selbständig Explorationsschiffe auszusenden, deren Zweck es sein sollte, sowohl die Physik der Meere im allgemeinen zu fördern, als auch insbesondere unser Wissen von den Seetiefen zu befestigen und zu erweitern. Uebersichtlich stellt die einschlägigen Nachweisungen v. Boguslawski [55] zusammen. Derselbe zählt an grossen, wissenschaftliche Ziele verfolgenden Weltumsegelungen für den Zeitraum von 1772 (Cook und J. R. Forster mit der „Resolution") bis 1878 (v. Wickede mit der „Elisabeth") nicht weniger denn 22 auf. Von den englischen Fahrten in den nördlichen Meeren seien namhaft gemacht diejenigen von J. Franklin („Erebus" und „Terror", die dann unter James Ross auch tief in die antarktische Zone eindrangen); von dem letzteren („Discovery"), von Belcher („Samarang"), Dayman („Rattlesnake"), Mac Clintok („Bulldog"); auch die amerikanischen Polarreisen von Kane, Hayes, J. Hall („Polaris"), Greely, Peary, De Long haben unser bathometrisches Wissen bereichert, wenn auch manche dieser Expeditionen ein trauriges Ende fand; vor allem die des letztgenannten Seemannes mit der „Jeannette" [56]. Die grossartigste aller wissenschaftlichen Seereisen lieferte, nachdem Hoskyn („Porcupine") bereits würdig vorangegangen war, die britische Fregatte „Challenger (= Herausforderer) unter der seemännischen Leitung von Frank Thomson und Nares, welche vom Dezember 1872 bis zum Mai 1876 unterwegs war und alle Meere berührte. Die wissenschaftliche Seite der Expedition befand sich in den bewährten Händen eines J. Murray und Wyville Thomson, welch letzterer vorher bereits mit „Lightning" und „Porcupine" (s. o.) die Nordhälfte des Atlantischen Ozeans durchforscht hatte. Das Challenger-Werk liegt zur Zeit in fünfzig Bänden vor [57], von denen allerdings nur ein kleiner Teil in unser Gebiet fällt. Von ausgedehnteren amerikanischen Expeditionen mögen diejenigen von Lee und Berryman (s. o.) mit dem „Dolphin", J. M. Green („Gettysburg"), Schley („Essex"), Evans („Saratoga") hervorgehoben werden, aber sie werden weit überragt von der „Tuscarora"-Expedition, welche Belknap (S. 397) leitete, und welche unsere Kenntnis des Pazifik mächtig förderte. — Wenden wir uns den Franzosen zu, so sind den älteren Weltreisen eines La Peyrouse, D'Entrecasteaux, Dumont d'Urville („Astrolabe"), diejenigen zweier in der neueren Geschichte der Ozeanographie mit grossen Ehren zu nennenden Schiffe, des „Travailleur" und des „Talisman", gefolgt, deren Befehlshaber Parfait war. — Als ein berühmtes schwedisches Expeditionsschiff steht die „Vega" da, welche unter A. v. Nordenskiöld die nordöstliche Durchfahrt erzwang; ferner sind von skandinavischen Fahrzeugen „Isbjörn", „Eira" und vor allen „Vöringen" zu nennen, an dessen Bord der treffliche Meteorologe Mohn wichtige Einsichten gewann, die in einer besonderen Schrift [58] niedergelegt wurden. — Russland gehörte das Schiff „Vitiaz" an, dessen Reise von Makarow [59] wissenschaftlich bearbeitet worden ist, nachdem schon in den ersten Jahrzehnten des Jahrhunderts die Erdumsegelungen eines v. Kotzebue und v. Krusenstern, ausgezeichnet durch ihre Begleiter v. Chamisso und Horner (s. o.), stattgefunden hatten.

Deutschland ist hinter den anderen Ländern nicht nur nicht zurückgeblieben, sondern hat dieselben sogar in manchen Beziehungen überflügelt. Von grösseren Reisen sind diejenigen Mac Leans („Prinz Adalbert"), Pirners („Moltke") und Krokisius' („Marie") erwähnenswert, aber in der Expedition der „Gazelle", deren Kommandeur der spätere Admiral v. Schleinitz war, hat diejenige des „Challenger" ein würdiges Seitenstück gefunden; die zwei Bände des Reiseberichtes [60], vorab der zweite, sind von grosser Wichtigkeit für die Meereskunde. Des ferneren ist zu Anfang der siebziger Jahre die „Kommission zur wissenschaftlichen Erforschung der deutschen Meere" mit dem Sitze in Kiel gegründet worden, durch deren Mitglieder (G. Karsten, H. A. Meyer, Möbius, Hensen, Jacobsen u. a.), mit Unterstützung des zur Verfügung gestellten Dampfers „Pommerania", Nord- und Ostsee gründlich durchforscht wurden, und endlich sind auch die Fahrt des „National" und die Reichsunterstützung für die Tiefseeuntersuchung Chuns nicht zu vergessen. — Von Oesterreich wurde schon früher die „Novara" unter v. Wüllerstorf-Urbairs Kommando entsandt, und gegenwärtig verfolgen alle Freunde der ozeanischen Physik mit lebhaftem Interesse die Kreuzfahrten der „Pola" (seemännischer Leiter Pott, wissenschaftlicher Stab J. Wolf, Luksch, Natterer u. s. w.), welche im Adriatischen und Jonischen Meere ihre Arbeit begonnen, hernach das östliche Mittelmeer besucht und endlich die gestellte Aufgabe auch noch auf das bisher etwas vernachlässigte Rote Meer ausgedehnt hat. Wir werden in diesem und im nächsten Kapitel mehrfach Gelegenheit haben, der „Pola" und ihrer Errungenschaften zu gedenken. Selbstverständlich sind neben diesen grösseren Unternehmungen auch noch viele kleinere Unternehmungen im Gange gewesen oder noch im Gange, denen gerecht zu werden der zugemessene Raum verbietet.

Wie aus dem Obigen sich ergibt, zwingt namentlich jede neue Kabellegung zu sehr eingehender Prüfung des Meeresbodens. Unter diesem Gesichtspunkte gehen jene für die wirtschaftliche Geographie so bedeutsamen Ausgestaltungen des tellurischen Nachrichtenwesens auch die physische Erdkunde an, welche im übrigen durch die Sache selbst nicht näher berührt wird. Bei Kayser [61] und Schellen [62] findet man Näheres über den Gegenstand, besonders über die erforderliche Kautschuk-Isolierung der Drähte gegen das die Elektrizität gut leitende Meerwasser.

Mit den wichtigeren Resultaten dieser zahlreichen, in mehr oder minder systematischer Weise angestellten Tiefseeuntersuchungen wollen wir uns jetzt bekannt machen. Um jedoch der Tendenz, welche jede Landschaftsschilderung im Auge hat, möglichst zu entsprechen, wollen wir einige auf submarine Topographie bezügliche Bezeichnungen zuvor kennen lernen. Vom Meeresbecken war bereits (S. 397) die Rede; Depressionsgebiete nennen wir [63] Oertlichkeiten von besonders ausgeprägter Tiefeneinsenkung, und mit Petermann [64] kann man einzelnen Stellen, welche von einem Explorationsschiffe als besonders tief erkannt wurden, den Namen eben dieses Schiffes beilegen (Tuscarora-Tiefe u. s. w.). Flache Einsenkungen sind Mulden, schärfer eingeschnittene Thäler, während ein Kessel als Mulde steiler Böschung zu betrachten ist. Die Ausbildung einer selbständigen Nomenklatur für die Reliefverhältnisse des Meeresbodens hat sich Krümmel [65] angelegen sein lassen, dem folgend wir das Wort Tiefe ausschliesslich jähen, wenig vermittelten Abstürzen vorbehalten; derselbe spezialisiert auch die einzelnen Orte genauer, indem er z. B. von einer „Washington-Tiefe im Tuscarorabecken des nordwestlichen Teiles der Südsee" spricht. Andererseits hat man auch, wie es in dem von der Deutschen Seewarte herausgegebenen „Atlas des Atlantischen Ozeans" geschah, eine Tiefe, Ausdehnung und Gestalt der besonders ausgezeichneten Meerespartien berücksichtigende Namengebung gewählt [66].

Das Material zu der nun folgenden Uebersicht liefern, neben einer älteren Schrift v. Boguslawskis [67], das früher schon (S. 376) zitierte Buch von

J. J. Wild [68], das österreichische Handbuch [69], dasjenige des vorgenannten deutschen Hydrographen [70] und die besonders konzise Darstellung der wissenswürdigsten Thatsachen bei Supan [71]. Nicht geringe Dienste leisten dem, der tiefer eindringen will, die Referate v. Boguslawskis und Krümmels im „Geograph. Jahrbuch"; so ziemlich alle neuen Ermittelungen werden auch in den „Ann. f. Hydrogr. u. marit. Meteorologie" bekannt gemacht. Tiefenkarten, selbstverständlich nach englischem Massysteme, enthält das Challenger-Werk (s. o.), und auch das deutsche Reichsmarineamt hat eine solche Karte herausgegeben [72]. Den neuesten Standpunkt der Bathometrie aber charakterisieren die drei als „Oceanic Soundings" im Auftrage der britischen Admiralität von Wharton zu Anfang des Jahres 1896 der Oeffentlichkeit übergebenen drei Seekarten. — Alle Punkte gleicher Tiefe verbindet man durch eine Isobathe (I, S. 312), und zumal dann, wenn noch polychromale Abtönung der einzelnen isobathischen Zonen (πολύς, viel; χρῶμα, Farbe) gewählt wird, tritt das Relief des Meeresbodens ungemein plastisch hervor. Die Meerestiefen und Landhöhen vereinigt zum Ausdrucke bringende Karte Supans [73] (I, S. 300) mag zum Belege für die so erreichbare Anschaulichkeit dienen. Es ist dieses Hilfsmittel demjenigen der Profilzeichnung vorzuziehen, mit welchem nach Krümmel [74] zuerst Graf Marsigli (S. 376) systematisch vorgegangen ist, und von welchem u. a. auch Wild (s. o.) einen umfassenden Gebrauch macht. Seeprofile haben allerdings das gegen sich, dass die Sanftheit der unterseeischen Böschungen, falls nicht der Masstab ein gewaltig grosser ist, gar nicht zur Geltung kommt, und dass sie noch leichter zu irrigen Vorstellungen Veranlassung geben, als dies schon den Gebirgsprofilen nachgesagt wird. Die Ueberhöhung (I, S. 315), fast immer unvermeidlich, schafft in unserem Falle leicht Zerrbilder und verwandelt flache Inselsockel in spitze Piks. Aus diesem Grunde wird hier auf eine zeichnerische Wiedergabe von Meridian- und Paralleldurchschnitten durch die Ozeane vollständig Verzicht geleistet. — Dies vorausgeschickt, treten wir nunmehr an die Tiefencharakteristik der einzelnen Meere selbst heran.

a) Atlantischer Ozean. Die noch von Maury [75] gehegte Meinung, dieses Weltmeer ziehe sich als ein tiefer Trog zwischen den beiden Polarkreisen (S. 377) hin, musste als völlig unhaltbar aufgegeben werden. Ziemlich in der Mitte des Ozeans streicht von Süd nach Nord, den Küstenkonturen angenähert parallel und, wie sie, S-förmig gestaltet, eine Kette zusammenhängender breiter Erhebungen [76], zu denen das Telegraphenplateau (S. 402) gehört, während noch weiter nördlich ein stellenweise nahe an die Wasserfläche heranreichender Rücken von Skandinavien nach Island hinüberreicht. Gegen Süden tritt eine Verschmälerung des Hauptrückens ein („Dolphin-Rise" nahe den Azoren), der in der Breite der Insel Tristan D'Acunha einen Ausläufer gegen die afrikanische Küste vorsendet. Die Tiefe des erstgenannten Rückens schwankt zwischen 1800 und 3600 m. Im ganzen lässt sich also eine Vierteilung des Ozeans durch einen meridionalen Hauptzug und zwei ungefähr senkrecht gegen ihn verlaufende Seitenäste beobachten; im Süden des nordwestlichen Quadranten ist — im Bereiche der westindischen Tiefe v. Boguslawskis [77] — die bislang tiefste Stelle des Ozeans (19° 39′ nördl. Br., 66° 26′ w. L.) gelotet worden, und zwar mit 8341 m. Ein Längsrücken, der von der schottischen Küste bis zu den Fär-Öer sich erstreckt, bewirkt, dass hier das Meer an einer Stelle nur 550 m tief wird, aber dieser Untiefe steht ein steiler Absturz an der vlämischen Kappe am Ostrande der Bank von Neu-Fundland gegenüber, dessen Existenz Krümmel [78] aus den Lotungen des „Faraday" (S. 401) geschlossen hat. Als eine Merkwürdigkeit ist endlich die sehr seichte Alice-Bank im Südwesten der Azoren-Inseln Pico und Fayal zu verzeichnen, welche Fürst Albert von Monaco auf seiner den Nautikern wohlbekannten Yacht „Prinzess Alice" aufgefunden hat.

b) Europäische Rand- und Mittelmeere. Die Nordsee ist wenig tief; ihre im Skager Rak gemessene Maximaltiefe beträgt 808 m, während für die Ostsee im Maximum 427 m, im Kanal (mit St. Georgs-Meer) 263, im Mittelländischen Meere aber 4400 m gelotet wurden [79]. Von ersterem Meeresbecken ist der nordöstliche Teil weitaus der tiefere, während der südwestliche, durch die flache Doggers-Bank — einen nach den holländischen Fischerbooten so genannten ergiebigen Seejagdgrund — abgeschieden, äusserst seicht ist. Die Ostsee ist schon früher von v. Etzel [80] und nachher von Ackermann [81], Krümmel und Schott [82] monographisch behandelt worden, so dass wir über sie mit am besten

unterrichtet sind. Dem Relief zufolge sind als selbständige Teile des Meeresbeckens die das Kattegat, die drei Meeresstrassen und die Mecklenburger Bucht umfassende Beltsee, die Ostsee im engeren Sinne von der Darsser Schwelle bis zum Finnischen Busen (diesen mit inbegriffen), und das Bottnische Meer zu unterscheiden; Depressionsgebiete (S. 403) bis über 100 m sind mehrfach vorhanden [83], aber flache Gründe bilden die Regel. Schott (s. o.) unterscheidet innerhalb der eigentlichen Ostsee sogar sieben tiefere Becken; ein solches heisst auch in der Ortssprache ein „Tief" (plattdeutsch „Deep"). Dieselben kommunizieren miteinander nur ganz oberflächlich, weil die sie trennenden Kämme durchschnittlich nur etwa 60 m von der Oberfläche des Meeres entfernt sind. Verhältnismässig reich gegliedert ist der Boden unseres Mittelmeeres [84]. Dasselbe wird durch die zwischen 200 und 950 m Tiefe schwankende Enge von Gibraltar gegen den Ozean abgeschlossen und zerfällt durch eine hoch hinaufreichende Bank zwischen Sizilien und Tunis in ein seichteres Westbecken, das in der Nähe der Insel Menorca bis 3070 m absinkt, während das Ostbecken, wie oben erwähnt, Tiefen von weit mehr denn 4000 m aufweist. Das Jonische Meer scheint eine grösste Tiefe von 3600 m zu besitzen [85]. Das Relief des Archipelagus wird wesentlich durch seine zahlreichen Inseln bestimmt; Schwarzes und Asowsches Meer sind von geringer Tiefe, letzteres vielleicht nur von 15 m. Auch der Bosporus reicht nur an einer einzigen Stelle unter 100 m hinab [86]; das ist übrigens wohl begreiflich, wenn man mit Philippson [87] annimmt, dass diese Meeresstrasse einem auf dem Festlande erosiv gebildeten und nachträglich erst unter das Meer hinabgetauchten Thale entspricht. Die Sondierungen Spindlers [88] im Marmara-Meere zeigten, dass drei durch Rücken voneinander geschiedene Senkungen in diesem Becken bestehen, deren östliche — mit 1403 m — auch die tiefste sein würde. Die geologische Geschichte der Gegend, wie sie Philippson (s. o.) geschrieben hat, lässt die Ursache dieser namhaften Tiefe der Propontis sofort erkennen, indem hier tiefe Brüche ein Absinken des Festlandes zur Folge gehabt haben.

c) Ostamerikanische Rand- und Mittelmeere. Das Innere des St. Lorenz-Golfes hat, wie die Fahrten des Explorationsdampfers „Landsdowne" feststellten, Tiefen über 500 m [89]. Vom Mexikanischen Golfe erreicht [90] ein volles Drittel noch nicht eine Tiefe von 200 m, während wieder andere Teile, die nur durch schroffe Abhänge mit ersteren zusammenhängen, bis 3500 m und mehr absinken. Die Sigsbee-Tiefe an den Yukatan-Bänken wetteifert mit den grössten Depressionen des freien Atlantischen Ozeans in seinem westlichen Teile, wo dann freilich, ganz nahe an den Antillen, jener Abgrund von über 8000 m (S. 404) sich aufthut.

d) Indischer Ozean. Von diesem Weltmeere bemerkt G. Schott [91], das Studium seiner Bodenformen sei lange, wiewohl aus begreiflichen Gründen, etwas vernachlässigt worden, und erst die Tiefenaufnahmen des „Investigator" und „Great Northern" (1894—96) hätten wenigstens das Meer nördlich vom Aequator befriedigend aufgeklärt. Die bisher ergründeten Maximaltiefen des Gesamtozeanes sind 5410 m (39° 24′ s. Br., 23° 12′ ö. L.) und 5437 m (40° 13′ s. Br., 60° 8′ ö. L.); die früher als am meisten abyssisch angesehene Stelle, die Jeffreys-Tiefe westlich von Kap Leeuwin, senkt sich nur bis 5276 m, somit etwas weniger tief, ein. Allerdings hatte die „Gazelle" Tiefen von 5565 und 5523 m gelotet [92], allein diese liegen dem Hinterindischen Archipel bereits so nahe, dass man es als fraglich hinstellen kann, ob sie noch dem Indischen Ozean selbst angehören. — Jedenfalls zu diesem gehört das Rote Meer mit seiner typischen, eine Koinzidenz von Längsachse und Verbindungslinie der tiefsten Stellen (1900 m) darbietenden Trogform [93]. Der Golf von Suez ist flach, derjenige von Akabah hingegen tief, weil er nur die Wasserausfüllung eines alten, tief nach Syrien hinreichenden Grabenbruches (s. u. in Abteil. VIII, Kap. V) darstellt. Dass zahlreiche, Untiefen bewirkende Bänke den Persischen Meerbusen durchsetzen [94], ist eine bekannte Sache. Die Krümmelsche Tiefenkarte vermittelt mit ihren Begleitworten [95] eine sehr gute Uebersicht über den Boden des Indischen Ozeans, und mit Ausnahme der oben genannten Zahlen ist das ihr zu Grunde liegende Material nicht wesentlich vervollkommnet worden.

e) Meere zwischen Indischem Ozean und Südsee. Die Sulu-See, die Celébes-See, die Banda-See und das (melanesische) Korallen-Meer sind

durchweg abgesperrte, an den Rändern seichtere Meeresbecken, die im Inneren tiefe Einsenkungen — resp. bis zu 4660 m, 4755 m, 5120 m, 4850 m — wahrnehmen lassen [96]. Die übersichtlichste Darstellung der Verhältnisse im Australasiatischen Mittelmeere hat Krümmel [97] gegeben. Nördlich und nordwestlich von Neuholland zieht sich ein Senkungsfeld hin, welches in der Schleinitz-Tiefe sich am kräftigsten ausprägt (zwischen Timor und Sumbawa).

f) Der Grosse Ozean. Der Meridian von 150° w. L. teilt den Stillen Ozean in zwei Hälften von sehr abweichendem Tiefencharakter; die amerikanische Seite, inselarm wie sie ist, senkt sich gegen die Grenzlinie ab, in deren Nähe, gegen die Sandwich-Gruppe hin, die Tiefe auf mehr denn 5000 m anwächst [98]. Die Vermutung, dass das vom „Challenger" entdeckte, die Marquesas- und Gesellschafts-Inseln tragende Plateau sich weit nach Osten erstrecke, bestätigte sich vollständig, denn neuerdings unternommene Sondierungsfahrten des chilenischen Regierungsdampfers „Presidente Pinto" haben ergeben [99], dass die Inseln San Felix und Juan Fernandez von einem ziemlich hoch anschwellenden Rücken getragen werden. Die grösste Tiefe des Ostpazifik war bei der Insel Unalaschka, mit 6140 m, gemessen worden. Ungleich abwechslungsreicher erweist sich die Gliederung der Westhälfte. Hier waren schon seit längerer Zeit bekannt die bis zu 6000 m hinabreichenden Abstürze der Hilgard- und Miller-Tiefe bei den Phönix-Inseln, die Thomson-Tiefe zwischen Neu-Seeland und Australien, die Gazellen-Tiefe zwischen Neu-Seeland und Neu-Kaledonien, die im Bereiche der deutschen Schutzgebiete gelegene Carpenter-Tiefe, die Nares-Tiefe zwischen dem Palau- und Karolinen-Archipel und endlich die Patterson-Tiefe nordwestlich von Australien. Den tiefsten Punkt der Hydrosphäre aber glaubte man, in geringer Entfernung von der südöstlichen Küste Nippons, in der Tuscarora-Tiefe, ermittelt zu haben, wo jenes Explorationsschiff einmal 8513 m gelotet hatte, während auch rings herum eine Durchschnittstiefe von über 7000 m zu bemerken war [100]. Seit dem Sommer 1895 hat sich dieses Bild geändert; es wurden nämlich durch den britischen Royal Hydrographer Wharton die Aufnahmen des Kriegsschiffes „Penguin" bekannt gegeben, wovon Supan [101] den Deutschen zuerst Mitteilung machte. Von den Fidji-Inseln bis Neu-Seeland zieht ein mit Eilanden und Korallenriffen besetzter Rücken (Tonga-Plateau), an dessen Ostrande drei Einsenkungen von mehr als 8000 m Tiefe nachgewiesen wurden. In der nördlichen Senke fand die „Egeria" 8284 m (17° 4′ s. Br., 172° 14′ 30″ w. L.); in der mittleren Senke traf das gleiche Schiff auf 8098 m (24° 37′ s. Br., 175° 8′ w. L.); das südliche Senkungsfeld endlich liegt zwischen den Parallelen von 26½° und 31° s. Br., und hier befindet sich die zur Zeit als solche bekannte Maximaltiefe der Ozeane, indem der „Penguin" erstmalig das Lot zweimal auf mehr als 9000 m absinken sah. Die eine der betreffenden Tiefen, unter 28° 44′ 24″ s. Br. und 176° 4′ w. L. gemessen, wird von Supan (s. o.) mit 9413 m angegeben, während bei 38° 28′ s. Br. und 176° 39′ w. L. sich sogar 9427 m ergaben. Die Grenzen dieses abyssischen Gebietes lassen sich heute noch nicht genau umschreiben. — Die pazifisch-asiatischen Randmeere sind im allgemeinen weniger tief, am wenigsten das Gelbe Meer (S. 387).

g) Das Arktische Meer. Auf das isländische Plateau, an der seichtesten Stelle nur 649 m vom Seespiegel abstehend, kamen wir bereits beim Atlantischen Ozean zu sprechen. Die Randverhältnisse des Nördlichen Eismeeres kennzeichnet mit wenigen Worten Supan [102], wie folgt. „Jenseits der genannten Erhebung setzt sich das atlantische Thal im Eismeerbecken fort, das zwischen Spitzbergen und Grönland seine grösste bekannte Tiefe erreicht. Diese atlantische Tiefenlinie ist die wahre Grenze zwischen der Alten und Neuen Welt, während im Berings-Meere eine Flachsee beide Landfesten verbindet. Die grösste Tiefe der Berings-Strasse beträgt auf Dalls Messungslinie nur 52 m, und damit hängt wohl auch ihre geringe Breite im Vergleiche zu den drei isländischen Kanälen zusammen." Die nördliche Polarsee galt bis vor nicht sehr langer Zeit als ein ziemlich flaches Becken, allein diese Ansicht darf nach den wichtigen Aufschlüssen der Reise Nansens, welche H. J. Klein bequem übersehbar zusammengestellt hat [103], nicht mehr aufrecht erhalten werden. Zwischen Franz Josephs-Land und den Neusibirischen Inseln wurden Tiefen über 3000 m mehrfach, einmal sogar 3800 m gelotet.

h) Das Antarktische Meer. Genaue Lotungen südlich vom 66., ja selbst nur vom 60. Breitengrade sind nur in spärlicher Anzahl vorhanden. Man muss

danach bis auf weiteres vermuten [104], „dass der Boden des Antarktischen Meeres ein Plateau von kaum mehr als 1000—1500 m Tiefe darstellt".

Vergleicht man die grössten Höhen der Lithosphäre mit den tiefsten Einsenkungen der Hydrosphäre, so sieht man, dass diese Extremwerte, um einen Ausdruck Krümmels zu gebrauchen, von derselben Grössenordnung sind [105]. Dem höchsten Berge Gaurisankar (8840 m; I, S. 143) steht die tiefste Stelle der neuen Penguin-Tiefe (9427 m) gegenüber. Bis vor kurzem erschien die Differenz Höhenmaximum minus Tiefenmaximum (8840—8513 =) 327 m positiv; nunmehr ist sie allerdings negativ geworden, aber der Absolutwert (9427—8840 =) 587 m ist immer noch kein sehr erheblicher. Auch erscheint es wenig wahrscheinlich, dass neuere Forschungen tiefgehende Veränderungen an dieser Differenz anbringen werden. Was jedoch von den Extremwerten ausgesagt werden konnte, gilt keineswegs von den Mittelwerten. Diejenigen der Landerhebung wird uns erst der orometrische Abschnitt (Abteil. VIII, Kap. II) vermitteln, aber diejenigen der Meere haben uns schon an dieser Stelle zu beschäftigen.

§. 4. **Die mittlere Tiefe der Meere.** Denken wir uns eine gewisse, abgegrenzte Meeresfläche F in sehr viele Teile $\Delta_1, \Delta_2 \dots \Delta_n$ zerlegt, so dass die zu jedem einzelnen Stücke gehörigen Tiefen als wesentlich gleich angenommen werden können, dass diese Tiefen also mit $h_1, h_2 \dots h_n$ zu bezeichnen sind, so kann man den Quotienten

$$M = \frac{h_1 \Delta_1 + h_2 \Delta_2 + \dots h_n \Delta_n}{\Delta_1 + \Delta_2 + \dots + \Delta_n} = \frac{h_1 \Delta_1 + h_2 \Delta_2 + \dots + h_n \Delta_n}{F}$$

bilden. Dies M ist die Mitteltiefe des Meeresteiles F. Verschiedene solche mittlere Tiefen, geeignet kombiniert, liefern dann auch die Mitteltiefe eines grösseren Meeres, und schliesslich kann, falls das Lotungsmaterial ausreicht, auch die Mitteltiefe des Gesamtmeeres berechnet werden.

Bestimmungen dieser Art sind in der angewandten Mathematik zum öfteren ausgeführt worden; wir erinnern nur an die Berechnung eines mittleren Erdradius [106], welche von Schlömlich [107] auf das dreiachsige Ellipsoid ausgedehnt, von Drobisch [108] aber für Linien und Flächen überhaupt generalisiert wurde, oder an Grunerts [109] Untersuchung über den von dem Nationalökonomen v. Thümen eingeführten Begriff der mittleren Entfernung des Ackers vom Hofe. Mittlere Meerestiefen suchte zuerst Peschel [110] zu berechnen, und ihm ist darin Krümmel [111] mit grossem Eifer nachgefolgt. Diese letztere Arbeit ist von ihrem Urheber gegen Supans [112] und v. Boguslawskis [113] Einwände geschickt verteidigt worden [114], und in der Hauptsache ist, wennschon ja das Bedenken nicht unbegründet ist, dass unser Einzelwissen der Ermittelung genauer Durchschnittswerte noch nicht genügend Vorschub leiste, das Peschel-Krümmelsche Verfahren beibehalten worden, und es diente auch zur Basis für die neueste, möglichst exakt durchgeführte Bearbeitung des Problemes von Karstens [115]. Diese letztere Lösung ist gegenüber den älteren, auf das gleiche Ziel gerichteten Versuchen, welche ausser Krümmel noch De Lapparent [116], Murray [117], v. Tillo [118], Heiderich [119] angestellt haben, als die zur Zeit gesichertste anzusehen, wie dies auch H. Wagner [120] in seiner Kritik der gefundenen Zahlen betont.

Diese Zahlen sind in folgender Tabelle der für die Mitteltiefe der Hydrosphäre berechneten Werte vereinigt:

De Lapparent	4260 m	Krümmel (1879)	3479 m
Murray	3800 „	Krümmel (1883)	3320 „
v. Tillo	3800 „	Heiderich	3438 „
Supan u. Penck (aus Murray)	3656 „	Karstens	3496 „

Das rohe Mittel hieraus wäre 3654 m. Am besten wird man, da ja doch an Exaktheit im gewöhnlichen Sinne nicht zu denken ist, mit H. Wagner [121] eine runde Zahl ansetzen.

Wenn man alle Meere, für welche genauere Bestimmungen vorliegen, mit 3613, das Nördliche Eismeer mit 820, das Südliche mit 1800 m (etwas hoch, s. S. 407) in Anschlag bringt, so ist die mittlere Tiefe aller Ozeane im ganzen, übereinstimmend mit Karstens, gleich 3500 m anzunehmen. Die Fehlergrenze wird von 5% dabei nicht weit abweichen. Ebenfalls nach Karstens stellen sich daneben die folgenden Einzelziffern: Atlantischer, Indischer, Pazifischer Ozean je 3760, 3650, 4080 m; Nordsee und Ostsee je 90 und 70 m; Mittelländisches Meer 1430 m; Mexikanisch-Karaibischer Meerbusen 2090 m; Rotes Meer 460 m; Andamanisches Meer 800 m; Australasiatisches, Ostchinesisches, Japanisches, Ochotskisches Berings-Meer je 980, 140, 1100, 1270, 1110 m; Kalifornischer Golf 990 m. Den offenen Ozeanen und den Nebenmeeren (S. 387) kommt jeweils eine mittlere Tiefe von 3670 und 1220 m zu.

In §. 2 ward einer indirekten Berechnung der Mitteltiefe Erwähnung gethan (S. 401), welche auch vorher schon (I, S. 491) gestreift werden musste. Durchläuft eine seismische Welle ein Meeresbecken von der ungefähren Tiefe h mit der Geschwindigkeit v, so ist, wenn g seine bekannte Bedeutung beibehält, $h = v^2 : g$. Mit Hilfe dieser Formel haben v. Hochstetter [122] und Geinitz [123] für die Mitteltiefe des Pazifik, je nachdem die Erdbebenwoge auf dem einen oder anderen Wege verfolgt ward, die Werte 4691, 4252, 4060 m ausgemittelt, was wiederum im arithmetischen Mittel 4334 m ergibt. Wenn man nun hört, dass das italienische Schiff „Vettor Pisani" zwischen Peru und Hawaii viele Lotungen mit dem Durchschnittswerte 4569 m vornahm [124], so wird man dem auf die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Stosswellen sich gründenden Verfahren ein unerwartet hohes Mass von Verlässigkeit zuschreiben müssen.

§. 5. **Submarine Böschungsverhältnisse.** Die zahlreichen Sondierungen haben die Möglichkeit gewährt, ein für viele Meere recht genau, für andere wenigstens in den Hauptzügen stimmendes Landschaftsbild des Meeresgrundes zu entwerfen. Von den phantastischen Seegebirgen des §. 1 bleibt ungemein wenig übrig; sanft gewellte Hügelreihen wechseln im allgemeinen mit nahe vollkommenen Ebenen, so dass sich, wie Krümmel sagt [125], Ansichten von „unglaublicher Langweiligkeit" dem Auge darbieten würden, falls urplötzlich alles Meerwasser verschwände. Ungemein grosse Flächen des trocken gelegten Bodens würden geradezu an die Lüneburger Heide oder an die amerikanische Prärieregion erinnern. Natürlich gibt es auch Ausnahmen, und zwar begegnet man diesen meistenteils dann [126], wenn die als Regel zu betrachtende Bedeckung mit weichen Sedimenten fehlt, und wenn dafür der natürliche Fels, das anstehende Gestein, wie die Geologen sich ausdrücken, vom Lote erreicht worden ist.

Nicht ganz selten finden sich isolierte Eintiefungen [127] (Pits der Engländer, Kulen der deutschen Schiffersprache), welche dann, wenn sie linear aneinander gereiht sind, allerdings das Miniaturbild eines unterseeischen Kettengebirges repräsentieren können. Die der Doggers-Bank benachbarte Silberkule, die grösste ihrer Art, hat etwa 1750 qkm Flächeninhalt. Unweit der Küste stösst man mitunter auf tiefe Auskolkungen, die mutmasslich einer auswirbelnden Thätigkeit gestauter Ströme ihre Entstehung verdanken; eine solche Stelle im Japanischen Meere ist von Makarow [128], eine zweite, der venetianischen Lagune an-

gehörig und mitten im seichten Küstengewässer einen 50 m tiefen Trichter bildend, ist von Contin [129] und O. Marinelli [130] beschrieben worden. Die steilsten Abstürze darf man bei Annäherung an Hochseeinseln anzutreffen erwarten; Koralleninseln fallen gewöhnlich am schroffsten ab, etwas weniger schroff die durch vulkanische Kräfte gebildeten Eilande (vgl. u. in Abt. VII, Kap. III).

Den mittleren Böschungswinkel des Adriatischen Meeresgrundes bestimmte Peucker [131] zu einem halben Grade. Mit grosser Hingebung hat Dietrich [132] sich an die Arbeit gemacht, die Neigungswinkel für eine sehr beträchtliche Anzahl ozeanischer Inseln zu ermitteln, und einige ausgezeichnete Fälle machte Buchanan [133] zum Gegenstande einer Spezialuntersuchung. In den von Korallenpolypen bevölkerten Archipelen befinden sich Inseln von so steiler Böschung, dass man damit kaum die ausgeprägtesten Steilabstürze unseres Hochgebirges vergleichen kann. Hierher gehören z. B. die Bahamas; zwischen ihnen und der Isobathe von 3660 m ist der Zwischenraum so gering, dass ein Abfall von nahezu 40° entsteht, brüsker als derjenige des Mönchs gegen das Grindelwalder oder der Jungfrau gegen das Lauterbrunnen-Thal, wie dies Penck [134] an einem weiten Kreisen geläufigen Beispiele erläutert. Allenthalben da, wo eine isolierte Erhebung aus dem Meeresgrunde aufragt, dürfen wir auf scharf markierte Böschungen rechnen ganz ebenso, wie auch die trichterförmigen Bodensenken kleiner Basis eine auffällige Unterbrechung des sonst monotonen Reliefs abgeben. „Die Abfälle der isolierten Erhebungen des Meeresgrundes," so verdeutlicht Penck [135] den Sachverhalt, „stehen den grössten Bergabfällen der Landoberfläche an Höhe und Steilheit durchaus nicht nach. Sie müssten nach der Lehmannschen Schraffenskala" — vgl. I, S. 309 — „durchschnittlich zu $^2/_3$ bis $^3/_4$ schwarz gehalten werden, und stellenweise zeigen sie fast lotrechte Abstürze, welche denen des Hochgebirges vollkommen ebenbürtig sind."

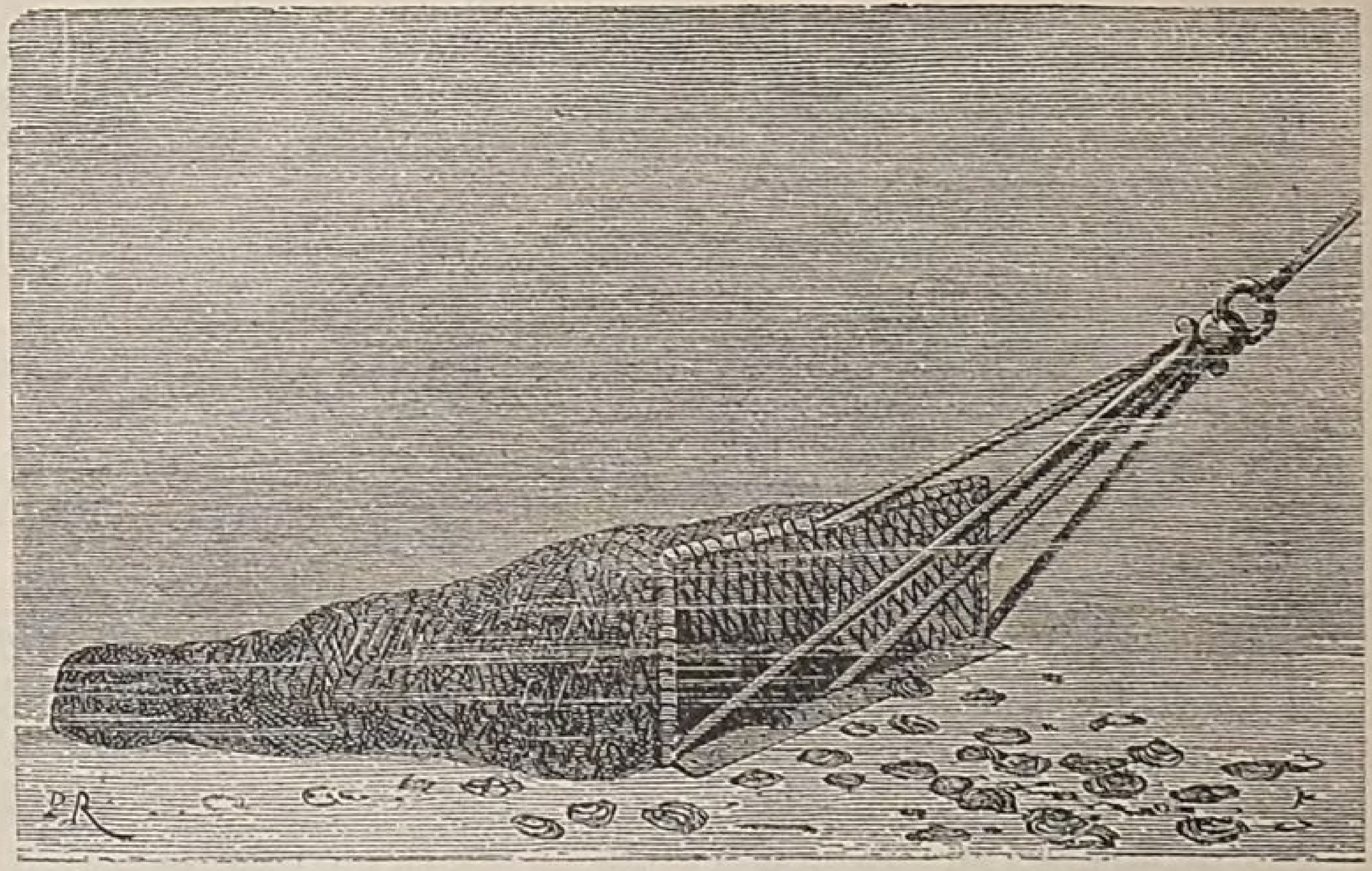
Im Vergleiche mit der ungeheuren Ausdehnung des Meeresbodens sind Terraingestaltungen der bezeichneten Art doch immer nur Ausnahmen. Die Regel bleibt bestehen: Im allgemeinen ist die Vertikalgliederung der submarinen Landoberfläche eine einfachere und gleichförmigere, als diejenige der subaërischen Landoberfläche. Das hat seinen Grund in einer leicht übersehbaren, auch schon von Peschel [136] richtig erkannten Thatsache, dass nämlich jene Erosionswirkungen, welche die Gestalt der Lithosphäre in ganz hervorragender Weise mitbestimmt haben, dem Meeresgrunde zwar nicht gänzlich fehlen, dort aber nur ausnahmsweise sich stärker geltend machen können. Darüber wird Kap. II der nächstfolgenden Abteilung Aufklärung zu bringen haben. Von der Küste ab sinkt [137] der Boden gewöhnlich sanft bis zu etwa 200 m Tiefe; von da bis 3000 m pflegen die Neigungswinkel etwas grösser zu werden, um sodann wieder abzunehmen. Jähere Abstürze in bedeutende Tiefen sind am Rande der Kontinental- und Inselsockel zu suchen.

§. 6. **Die Bodenbeschaffenheit des Meeresgrundes.** So alt das Loten ist, wohl als ebenso alt muss die Sitte angesehen werden, Grundproben mit dem Senkblei aus der Tiefe aufzuholen. Zu dem Ende höhlte man letzteres unten aus und brachte in dem Hohlraume eine weiche Masse — Seife, Talg u. dgl. — an, so dass sich Erde, Gestein, kleine Tiere dieser Masse anhefteten und mit nach oben gebracht wurden. Schon frühzeitig auch gaben die Segelhandbücher Anleitung, aus den Bodenproben Schlüsse auf den Ort, an dem sich das Schiff gerade befindet, zu ziehen. Doch dauerte es noch lange, bis die vereinzelten Beobachtungen sich häuften, und bis unter der Aegide des Küstenvermessungsdienstes der Vereinigten Staaten als Grenzgebiet zwischen Geologie und Ozeanographie ein neuer Wissens-

zweig, die submarine Geognosie oder Lithologie des Meeresbodens (γνῶσις, Erkenntnis; λίϑος, Stein), entstehen konnte.

Grosses Aufsehen erregte es nach Krümmel [138], als John Ross im Jahre 1818 aus einer Tiefsee von fast 2000 m (Baffins-Bay) sechs Pfund Grundschlamm heraufbrachte, aber noch blieben Bodenabsuchungen in grossen Tiefen vereinzelt. Als Brooke den Stab seines Apparates (S. 399) in der durch Fig. 80 gekennzeichneten Weise zum Herausschaffen loser Grundbestandteile einrichtete (1884), wurden [139] auch die tieferen Meere nach und nach genauer nach dieser Richtung hin durchforscht. Doch blieben alle diese Bestrebungen vereinzelt, bis in den vierziger Jahren Bache, der „Superintendent" der für die Küstenvermessung der Union niedergesetzten Staatskommission, die Organisation der Tiefseeforschung in die Hand nahm; sein Nachfolger Peirce führte weiter, was sein Vorgänger angefangen hatte. Die Männer, welche die wissenschaftliche Arbeit organisierten, waren zwei nach Amerika ausgewanderte Schweizer, v. Pourtalès und L. Agassiz; ersterer hat uns die Entwickelung der Bodenuntersuchung mit besonderer Rücksicht auf den südlichen Teil des ursprünglichen Studiengebietes geschildert [140], und in dem erst nach seinem Tode veröffentlichten Briefwechsel von Agassiz [141] findet man ein überaus reichhaltiges Material zur Beurteilung des ganzen Unter-

Fig. 82.



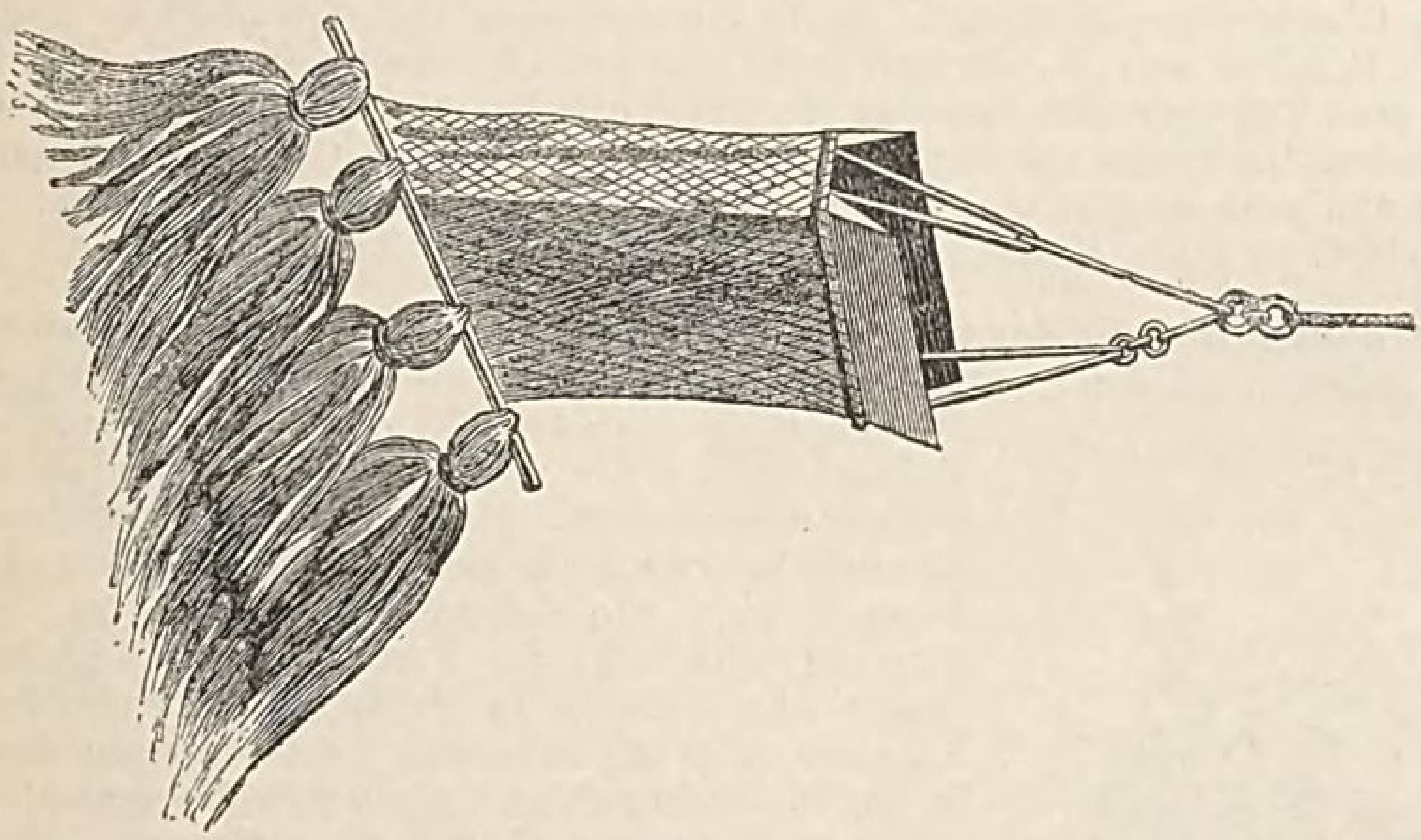
nehmens und der Schwierigkeiten zusammengetragen, die es anfänglich zu überwinden galt.

Zunächst war notwendig, die primitive und stets nur minimale Mengen liefernde Art der Aufbringung von Grundproben zu verbessern. Man verlangte, dass gleich ein grösseres Stück des Meeresbodens abgesucht werden könne, und so erfand man denn jene Schleppsäcke und Schleppnetze, von deren Einrichtung das deutsche und österreichische Admiralitätshandbuch Kunde geben [142]. Die Engländer haben für diese Werkzeuge des Tiefseeforschers die Namen „Dredge" und „Trawl", und so hat es sich gefügt, dass auch im Deutschen für den Prozess des Bodenabsuchens, namentlich auch in zoologischer Absicht, die Bezeichnung Dredschen üblich wurde. Die von Stellwagen und Sands konstruierten „Sounding Coups" können zwar nur kleine Quantitäten in sich aufnehmen, aber da ihr Deckel beim Heraufziehen durch den Wasserdruck selbst hermetisch verschlossen wird, so geht auch nichts verloren, was einmal in das Gefäss hineingeraten ist. Als die erste schwedische Expedition nach Spitzbergen ging, machten Torell und Chydenius mit den von ihnen hergestellten leichten Bodenkratzern im Bereiche der Flachsee gute Erfahrungen, wogegen für grössere Tiefen eine Modifikation der Bulldogmaschine von Mac Clintock (nach dessen Schiffe zubenannt) die besten Resultate lieferte [143]. Bei dieser Reise wurde auch zuerst das Dredschen unter dem Eise, das seitdem bei allen Polar-

fahrten eine Rolle spielt, mit gutem Erfolge unternommen. Schleppsack und Schleppnetz, welche beide an einer Leine über den Meeresgrund hingezogen werden, unterscheiden sich dadurch voneinander, dass ersterer bloss eine breite Oeffnung, nicht aber Maschen enthält. Zur Dredschung in geringeren Tiefen ist auch der sogenannte Schleppkäscher („Tow-Net") empfohlen worden. Für die möglichst vereinfachte und dabei doch den höchsten Grad von Zweckmässigkeit erreichende Einrichtung aller dieser, wie überhaupt aller von der ozeanischen Physik verwerteten Mechanismen ist nach Karstens Zeugnis [144] vor allem die Wirksamkeit H. A. Meyers bahnbrechend gewesen. Im übrigen sehen wir von Einzelheiten ab und verweisen auf Fig. 82 und 83, welche an sich schon das Wesen der Grundprobennahme in grösserem Stile veranschaulichen.

Heute sind wir — und zwar trifft das Hauptverdienst, dass wir so weit gelangten, die in §. 2 genannten Expeditionen — in den Stand gesetzt, die Beschaffenheit des Grundes in den meisten Meeren ziemlich genau angeben zu können, wiewohl selbstredend noch sehr viel zu thun bleibt, um unser Wissen abzurunden und auszugestalten. Als die auf gründlichster Autopsie beruhende Charakeristik der unterseeischen Ablagerungen und Decken muss unbedingt Murrays einschlägiger Challenger-Report [145] gelten. Es hat sich jedoch, so gründlich auch

Fig. 83.



Murray und sein Mitarbeiter Renard die Einteilung der Sedimente unter grösstenteils neuen Gesichtspunkten erörtert haben [146], gezeigt, dass die ältere Klassifikation, wie sie schon v. Boguslawski in seinem Hauptwerke anwandte [147], auch mit den seither erworbenen Einsichten gut in Einklang zu bringen ist. Man hat danach fünf Hauptabteilungen zu unterscheiden, welche nunmehr einzeln betrachtet werden sollen.

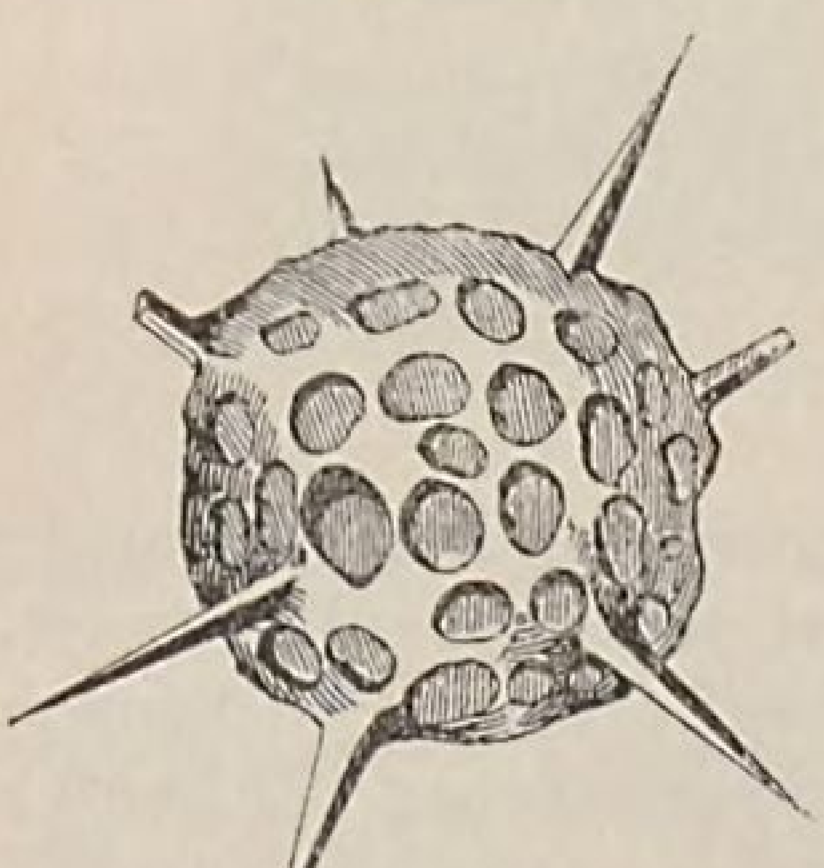
a) Küstenablagerungen. Es wurde oben (S. 409) bemerkt, dass innerhalb der Zone, welche zwischen dem Meeresufer und der 200-m-Tiefenlinie liegt — es kann mit ziemlich gleichem Rechte (S. 402) auch von der Hundertfadenlinie gesprochen werden —, ein ganz langsamer Verlauf des Grundes gegen die tieferen Partien stattfindet. Diese Zone nennen wir deswegen die Litoralzone, und was innerhalb derselben den Boden bedeckt, stammt fast ausschliesslich vom benachbarten Lande. Brandung, Gezeiten, wohl auch Meeresströmungen haben von der Küste Teile abgelöst und draussen im Meere abgesetzt; Gesteinstrümmer fallen zuerst zu Boden, Sand erst später, Schlamm wird am weitesten hinausgeführt, und so entsteht eine wesentlich homogene Decke, die allerdings dann, wenn mehrere mit Festkörpern beladene Strömungen sich begegnen, durch erhöhte, der Schiffahrt gefährliche Sandbänke oder Barren unterbrochen wird [148]. Wir werden

hierauf in Kap. IV der achten Abteilung, anlässlich der Deltabildungen und der aufbauenden Thätigkeit der Ströme, zurückzukommen haben. Sehr fein verteilte Erde, wofür unsere Strandbewohner den von der Wissenschaft adoptierten Namen Schlick (englisch Mud) verwenden, wird noch über die Litoralzone hinaus in das tiefere Meer geflösst (blauer Thon). Vulkanische Residuen sind an der Küste von Ländern, in denen Ausbrüche stattfinden oder stattfanden, häufig genug anzutreffen. Je nach der Beimengung gewisser mineralischer Substanzen von bestimmter Färbung nimmt auch der Schlamm eine gelbliche, grünliche oder graue Färbung an. Wie ungemein viel die Detritusmassen, welche von den Flüssen ins Meer hinausgeschafft werden, zur Erhöhung des Grundes beitragen, folgt u. a. aus den Untersuchungen von Higgin einerseits [149], Deyle und Fitzpatrick andererseits [150] über die Verschlammung der Uruguay-Mündung und des Golfes von Martaban. Dem letzteren führen nach dieser Schätzung Irawadi, Sittang und Salueen Sinkstoffe in solcher Menge zu, dass in wenigen Jahren die Tiefe um 20 m geringer wurde. — Thoulet, der [151] den geographischen Vereinen in Küstenstädten es als eine ihrer wichtigsten Aufgaben zuweisen möchte, Karten der petrographischen Zusammensetzung der Küste und des Litoralgürtels, nach Analogie der amerikanischen Pilot-Charts, herzustellen, hat auch die Uebergänge zwischen Sand und Schlamm schärfer zu fixieren vorgeschlagen [152]: Reiner Sand verwandelt sich zunächst in schlammigen Sand (letzterer enthält mindestens 84% des letzteren Aggregates), und dann folgt zunächst sandiger Schlamm und zuletzt reiner Schlamm. Die Abscheidung des Schlammes wird auf Grund der für das Hinabreichen der Wellen in die Tiefe bestehenden Sätze zu ermitteln gesucht.

b) Globigerinen-Schlamm. In Tiefen zwischen 450 und 3500 m findet sich, auf weite Flächen verteilt, ein Schlamm, der bei näherer Prüfung aus den Schalen kleiner, zum Organismenkreise der Protisten (Urtiere) gehöriger Tiere sich zusammensetzt. Dieselben, zur Familie der Foraminiferen (Löchertiere) gerechnet, bestehen aus schleimiger, ein kalkiges Gehäuse umlagernder Masse [153]; dieselbe wird zerstört, und die Kalkschale sinkt zum Grunde nieder.

c) Radiolarien-Schlamm. Auch die Radiolarien (Strahlentiere; vgl. Fig. 84) gehören zu den Protisten und, ebenso wie die Globigerinen (Kugeltiere), zu den Rhizopoden (Wurzelfüsslern), von welcher Klasse sie als die zweite, etwas höher entwickelte Ordnung erscheinen. Man besitzt für sie eine fundamentale Monographie aus der Feder Häckels [154]. Diesmal sind die Gehäuse nicht Kalk-, sondern Kieselschalen; der Formenreichtum ist ein ganz ausserordentlicher. In grösseren Meerestiefen (4000 bis über 8000 m) bedecken die Ueberreste der Radiolarien in solcher Mächtigkeit den Meeresboden, dass sie den Charakter der Sedimentierung bestimmen. In den Mittelmeeren findet man diese Bildung jedoch fast gar nicht.

Fig. 84.



d) Diatomeen-Schlamm. Während die erwähnten Protisten dem Tierreiche zugesprochen werden, sind die wesentlich aus einem Kieselpanzer bestehenden Diatomeen (διατέμνειν, durchschneiden) pflanzliche Organismen, nämlich Algen. Sie geben mitunter den Farbenton gewisser Meeresteile an; das olivengrüne Wasser, welches sich streifenförmig zwischen den dunkelblauen Spiegel der grönländischen Meere einschiebt, beweist, dass hier Milliarden von Diatomeen ihr Wesen treiben [155], ebenso wie andere Protisten nach Pouchet und Diguet es bewirken können [156], dass der Kalifornische Golf den Namen Purpurmeer mit Fug trägt. In den südlichen Ozeanen, besonders zwischen 53° und 63° s. Br., ist die Vertretung der Kieselalgen im Grundschlamme die am meisten hervortretende.

e) Tiefseethon. In den eigentlich pelagischen Tiefen ist der zwischen Grau, Braun und namentlich Rot spielende, wenig differenzierte Thon oberster Bestandteil des Meeresbodens. Braunsteinknollen (Mangansuperoyxd), Quarzkörner, Glimmerblättchen u. dgl. weisen, wie schon erwähnt (I, S. 494), darauf hin, dass

unterseeische Vulkanausbrüche etwas ganz Gewöhnliches sein müssen. Selbst in der Nordsee, die doch von vulkanischen Ländern, Island abgerechnet, weit entfernt ist, hat das Kanonenboot „Drache", nach v. Gümbels mineralogischer Analyse [157], derartige Stoffe massenhaft vorgefunden. Tierische Residuen sind selten, obwohl sie auch in grossen Tiefen nicht gänzlich fehlen. Der abyssische Bezirk des Tiefseethones beginnt im Atlantischen Ozean etwa bei 4400 m, in den beiden anderen Weltmeeren bereits bei 3600 m.

Wenn gerade von tierischen Ueberresten die Rede war, so ist auch daran zu erinnern, dass eine feste untere Tiefengrenze des organischen Lebens nicht zu existieren scheint. Die ältere Meinung, dass die tierischen Gewebe dem starken Wasserdrucke nicht standhalten könnten, und dass schon in geringeren Tiefen vollkommene Grabesruhe herrsche, ward zuerst durch Wallich erschüttert, als er, anlässlich der Reise des „Bulldog" im Jahre 1860, aus einer Tiefe von 2400 m einen lebenden Seestern heraufholte [158]. Der vermeintliche Bewohner der untersten Gründe, der Bathybius, welchen Huxley und nach ihm Bessels [159], in den von der „Polaris" befahrenen arktischen Gewässern, entdeckt zu haben glaubten, ungeheure Protoplasma-Klumpen von spontaner Bewegungsfähigkeit, hat sich freilich bei der Prüfung durch Möbius und Buchanan, den Chemiker der „Challenger"-Expedition als ein anorganisches Gebilde entpuppt [160], nämlich als Gips, der bei der Untersuchung im Laboratorium durch Alkohol gefällt war. Ein Werkchen von Marshall [161] erteilt über die Bewohnerschaft der Tiefsee jede wünschenswerte Belehrung; auch der Vortrag, den Chun über die Ziele der von ihm geplanten Meeresrundfahrt vor dem Plenum der Braunschweiger Naturforscherversammlung (1897) hielt (vgl. S. 403), verdient vom Geographen wohl beachtet zu werden.

Wenn wir zusammenfassen, was wir über die Bodenbeschaffenheit der Meere in Erfahrung gebracht haben, so können wir mit kurzen Worten als wichtigstes Ergebnis das anführen: In der Litoralzone und innerhalb des eigentlichen Tiefseegebietes herrschen anorganische, in den Meeren mittlerer Tiefe dagegen organische Ablagerungen vor. Auf eine Durchmusterung der einzelnen Meeresbecken, welches der besondere Charakter ihres Grundes sei, müssen wir hier verzichten, doch erteilt das österreichische Handbuch in dieser Hinsicht so umfassenden Bescheid [162], als es nach dem damaligen Standpunkte des bathologischen Wissens anging. Auch ein anderes, mit der Tiefseeforschung sich nahe berührendes Problem soll noch nicht in der Ozeanographie, sondern erst in Kap. I der achten Abteilung meritorisch gewürdigt werden. Wir meinen das Problem der Sedimentbildung, welches J. Walther [163] im engsten Zusammenhange mit der Meereskunde behandelt hat, und zu dessen Lösung u. a. Thoulet [164] und Weule [165] schätzenswerte Beiträge beigesteuert haben.

Man kann sich bei solcher Sachlage recht wohl denken, von welchen Erwägungen geleitet der russische Geologe Andrussow, unterstützt durch v. Zittel und J. Walther, auf dem geologischen Kongresse des Jahres 1897 warm für die Begründung eines „schwimmenden" internationalen Institutes zur Erforschung der Meere eintrat. Diese Idee ist von Tietze und Hörnes von sehr verschiedenartigen Standpunkten aus beleuchtet worden [166]. Der Geophysiker wird wohl geneigt sein, mit Hörnes für eine möglichst innige Durchdringung meereskundlicher und erdgeschichtlicher Arbeitsrichtungen sich auszusprechen.

§. 7. **Meeres- und Küstengliederung.** Es war in der Hauptsache die vertikale Gliederung, deren Feststellung uns in diesem Kapitel beschäftigte. Daneben kann aber auch, um die Aufgabe der Physiographie (S. 394) völlig zu erledigen, der horizontalen Gliederung, dem Ineinandergreifen von Meeres- und Festlandteilen, besonderes Augenmerk zugewendet werden.

Die Vermittelung zwischen beiden Bethätigungen räumlicher Beziehungen stellt dar der Zugangsquerschnitt eines Meeresbeckens. Ursprünglich hatte Krümmel [167] den Begriff der mittleren ozeanischen Zugänglichkeit eingeführt; dieselbe ist gleich dem Verhältnis der durch Wasser gebildeten Grenze zum Gesamtumfange des betreffenden Meeresbeckens; im Anschlusse daran schlug A. Kirchhoff [168] die Zugangsbreite als ein noch passenderes Element für gedachten Zweck vor, und Krümmel [169] berechnete auch dieses für verschiedene mehr oder weniger abgeschlossene Meere. Man kann nun aber auch von jenem vertikalen Profile, dessen Basis eben die Zugangsbreite ist, die Mitteltiefe aufsuchen, und wenn man endlich die Basis mit der mittleren Tiefe multipliziert, so erhält man den Zugangsquerschnitt (s. o.), den Zöppritz [170] für die Beurteilung von Zu- und Abströmung als das schicklichste Mass erachtet hatte. Natürlich sind die betreffenden Zahlen am leichtesten zu überblicken, wenn es sich um schmale Eingänge, also um Meerengen, handelt, und es würde so auch die Abschätzung der Güte eines Seehafens leichter auf Zahlen zurückzuführen sein. Nach Krümmel [171] seien nachstehend die numerischen Werte für einige bekannte Sunde mitgeteilt.

Strasse	Zugangstiefe in km	Zugangsbreite in km	Zugangsquerschnitt in qkm
Sunda-Strasse	0,046	45	2,0
Strasse von Ormus	0,101	52	5,2
Bab-El-Mandeb-Enge	0,220	30	6,6

Die Zugangsbreite ist kartometrisch leicht zu bestimmen, aber freilich will und kann sie auch nicht einen tieferen Einblick in die Verhältnisse der Horizontalgliederung gewähren, und wer einen solchen zu gewinnen bestrebt ist, muss auf andere Weise dieses Ziel zu erreichen trachten.

Wenn Strabon unseren kleinen Erdteil als den vielgestaltigsten (πολυσχήμων) bezeichnete [172], so wollte er damit offenbar sagen: Dieser Kontinent ist am meisten gegen das Meer aufgeschlossen, und die Länge der Küstenlinie ist, gegenüber dem nicht eben sehr grossen Flächenraume, eine beträchtliche. Auch ohne besondere Belehrung gibt jedermann zu, dass das plumpe Afrika auf den Namen der Vielgestaltigkeit weit weniger Anspruch hat, als das buchten- und halbinselreiche Europa. Dieses Gefühl aber der strengen Begriffsbestimmung oder gar der geometrischen Definition unterwerfen zu wollen, ist aussichtslos. Seit C. Ritter hat es nicht an vielfältigen Versuchen gefehlt, Küstenentwickelung oder Küstengliederung zu festem Begriffe zu erheben, allein alle diese Bestrebungen konnten nur einen bedingten Erfolg haben, weil die Willkür, das subjektive Ermessen, niemals ganz ausgeschlossen werden kann.

Die Rittersche Schule wollte, um die Küstengliederung G anschaulich darzustellen, $G = F : U$ setzen, wenn F der Flächeninhalt des vom Meere umspülten Landes, U dessen Umfang ist [173]. Dieses Auskunftsmittel wurde mit gutem Grunde bekämpft, weil G notwendig eine reine Zahl (nullter Dimension) sein muss und nicht mit einer Lineargrösse identifiziert werden kann. Doch ist das Verfahren Ratzels [174], eine Proportion zwischen den Flächenräumen und Umfassungslinien zweier Länder anzuschreiben, logisch einwurfsfrei, und seine Studien über Grenzentwickelung, welche C. Förster [175] weiterführte, sind gewiss nicht ohne mehrseitiges Interesse. Den erwähnten Widerspruch in der Bestimmung von G behob zuerst Nagel [176], und an seine Anregung, $G = \sqrt{F} : U$ zu setzen, knüpfte eine Menge anderweiter Verbesserungsvorschläge an, die von H. Berghaus, Keber, Schultze, Bothe, Schumann, A. Steinhauser, v. Klöden und v. Prondzynski formuliert wurden [177], die jedoch nicht eben wesentlich über das bereits

Erreichte hinauskamen. Zunächst befasste man sich nur mit planimetrischen Gebilden, aber allerdings wird man besser daran thun, mit Krümmel [178] sphärische Figuren als Norm zu nehmen; es kann jedoch der Kürze wegen die Betrachtung auch bei ersteren stehen bleiben, indem nur noch die Ergebnisse in die Sprache der Sphärik zu übertragen wären.

Indem wir auf die eingehende Kennzeichnung der verschiedenen Methoden bei Penck [179] verweisen, wollen wir nur bemerken, dass unter dem mathematischen Gesichtspunkte die Sache vielleicht am gründlichsten von Precht [180] erörtert worden ist, dessen Arbeit zu den sich neuerdings innerhalb jener Wissenschaft geltend machenden Versuchen, auch unregelmässige Figuren auf gewisse Gesetzmässigkeiten zu prüfen, in naher Beziehung steht. Auch eine Abhandlung von Wisotzki [181] gewährt wertvolle Fingerzeige. Das Verfahren von Ehrenburg [182] kann gewiss in vielen Fällen mit Vorteil angewandt werden: Man zeichnet, um den Wert G für eine irreguläre Figur F (Fig. 85) zwar nicht direkt zu erhalten, wohl aber durch äquivalente Ausdrücke zu ersetzen, drei konzentrische Kreise mit dem Mittelpunkte M, deren innerer jene Figur von innen in B, deren äusserer sie von aussen in A berührt, während ein mittlerer denselben Inhalt, wie F, besitzt. Sind dann F_1 und F_2 bezüglich die Flächen (resp. Kalotten), welche zum inneren und äusseren Berührungskreise gehören, so können die Quotienten $F_1 : F_2$, $F : F_1$ und $F : F_2$ wohl ein Mass der Gliederung abgeben. Direkt kann nach dem Vorschlage des Verf. G ermittelt werden [183], wenn man das Gebilde F dadurch, dass man

Fig. 85.

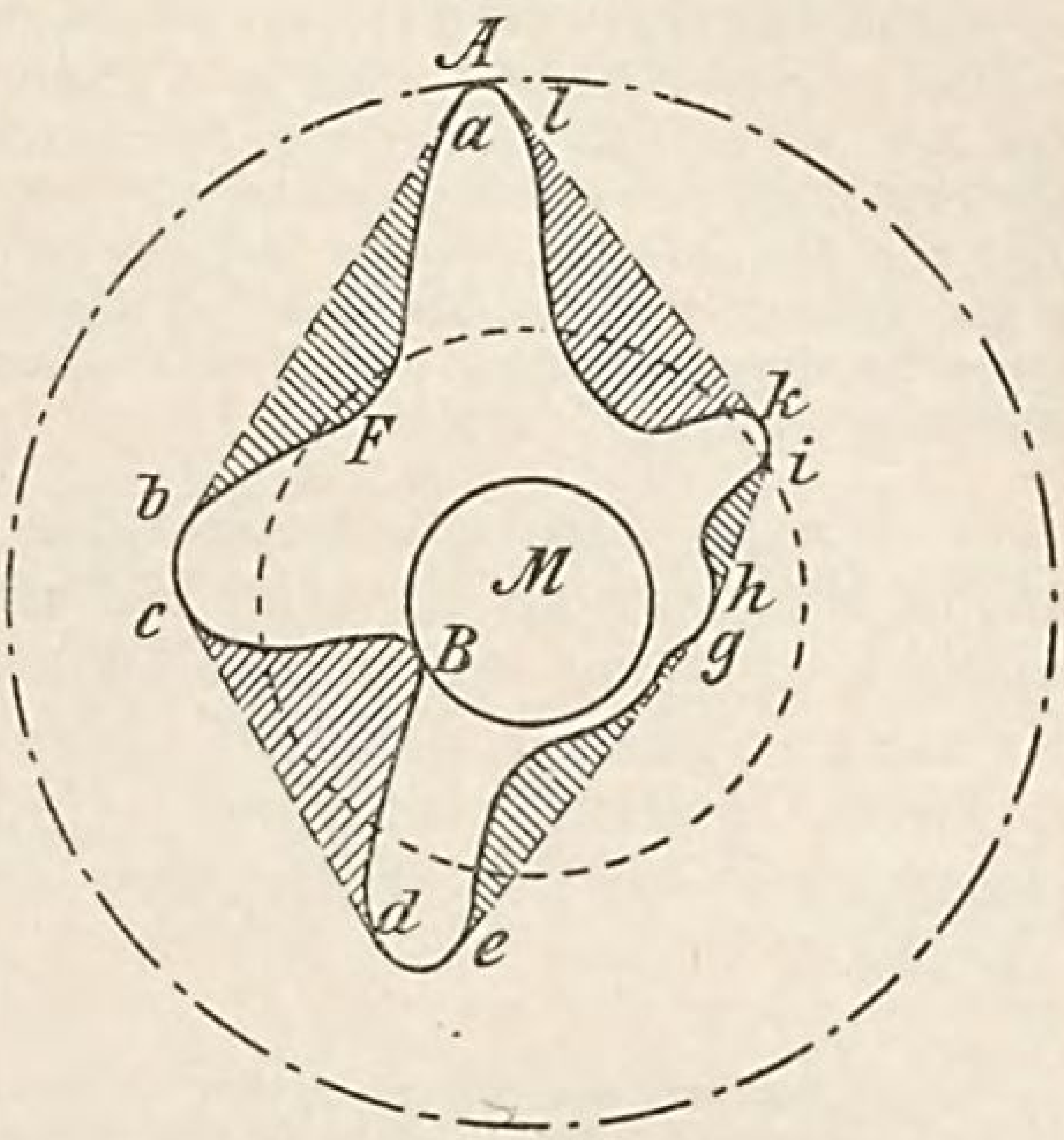
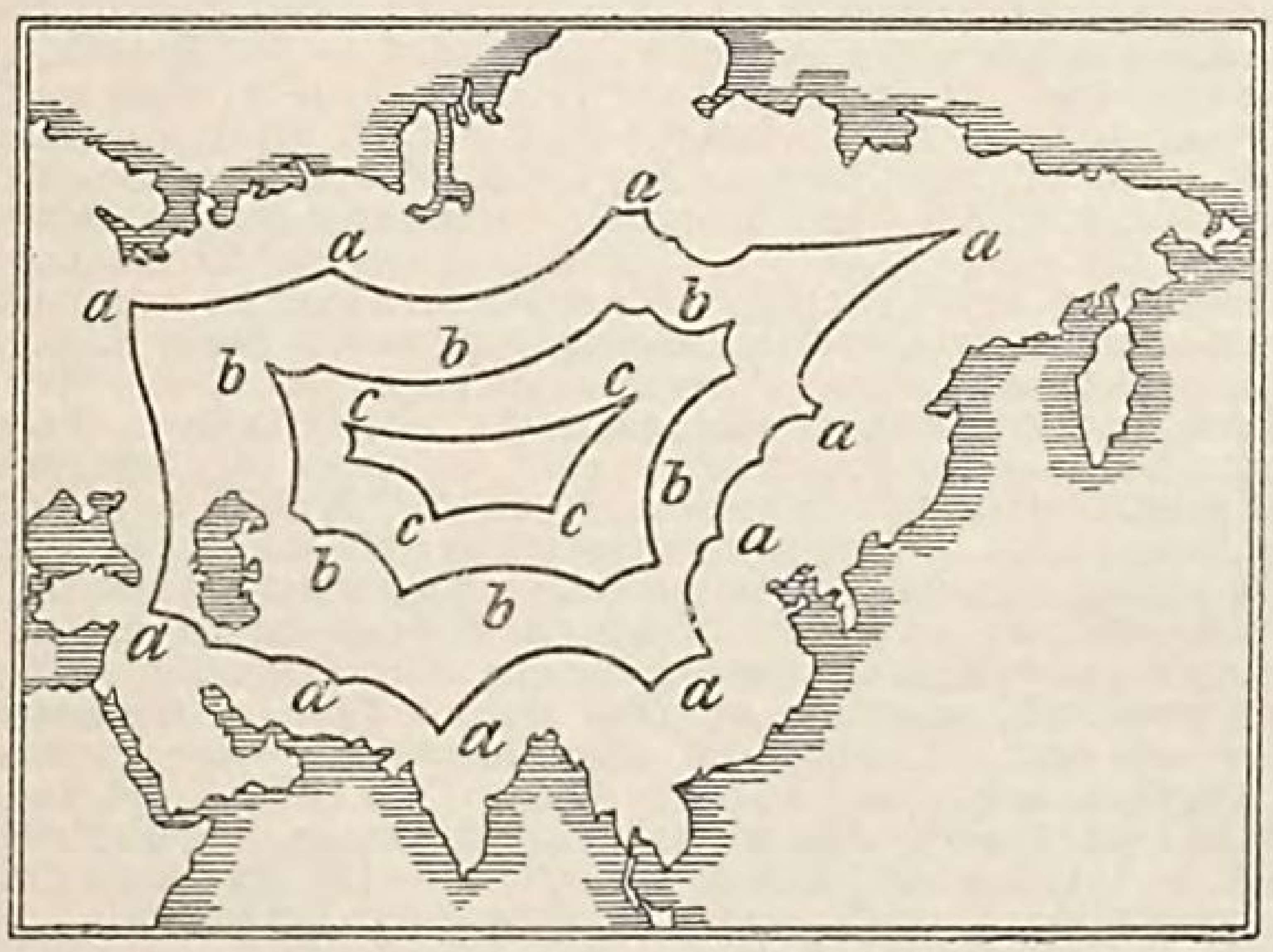


Fig. 86.



ein Lineal um die Grenzlinie berührend herumführt, mit einem zweiten Gebilde vergleicht, welches allseitig konvex nach aussen ist. In Fig. 85 setzt sich, wie man sieht, der Umfang der Hilfsfigur aus folgenden Zeilen zusammen (gr. bedeutet geradliniges, kr. krummliniges Stück):

$$\text{kr. lAa} + \text{gr. ab} + \text{kr. bc} + \text{gr. cd} + \text{kr. de} + \text{gr. eg} + \text{kr. gh} + \text{gr. hi} + \text{kr. ik} + \text{gr. kl.}$$

Die zwischen den geradlinigen Perimeterstücken und dem Umfang von F gelegenen Flächenstücke sind schraffiert; die Summe derselben soll f sein. Man

kann nun mit gleicher Berechtigung, wie dies auch Penck [184] anerkennt, G = f : F oder G = f : (F + f) setzen. Eine eindeutige Bestimmung ist von vornherein unmöglich, und das einzig zulässige Kriterium, dass nämlich eine Figur ohne jede konkave Perimeterstelle die Grenzentwickelung Null haben muss, ist in beiden Fällen erfüllt.

Ganz anders hat man die Sache angegriffen, indem man, einem von Zöppritz [185] gegebenen Rate folgend, die Meerferne als geographisches Element behandelte. Schütt [186] und Michael [187] haben diesen Begriff als Masstab der Küstenerreichbarkeit präzisiert. Auch hat man zur Erhöhung der Anschaulichkeit Kurven des mittleren Grenz- (oder Küsten-)Abstandes konstruiert. Einen Anfang machte W. Schmidt [188], dessen Kurvenschema (a a . . ., b b . . ., c c . . .) für Asien Fig. 86 in verkleinertem Bilde wiedergibt. Ihm folgte Penck [189] selbständig; unstreitig die umfassendsten Untersuchungen über diese Art von Graphik sind jedoch diejenigen von Rohrbach [190], welche den Gegenstand so weit fördern, als dies bei Gegenständen der hier in Rede stehenden, eine ganz bestimmte Frage- und Problemstellung anscheinend ausschliessenden Natur überhaupt angängig erscheint.

Die physikalische Geographie braucht auf diese methodischen Versuche offenbar nur ein sehr bedingtes Gewicht zu legen. Rein mathematisch sind sie von unzweifelhafter Bedeutung, und auch die Verkehrsgeographie bringt ihnen, wie Hettner [191] betont, ein gewisses Interesse entgegen. Unter diesem letzteren Gesichtspunkte geben auch wir dem Hilfsmittel der Linien gleicher Küstendistanz den Vorzug.

[1] Peschel-Ruge, Geschichte der Erdkunde bis auf C. Ritter und A. v. Humboldt, München 1877, S. 719. — [2] Buache, Essai de géographie physique, M. P., 1752, S. 399 ff. — [3] Wisotzki, Zeitströmungen in der Geographie, Leipzig 1897, S. 134; J. P. Richter, The Literary Works of Leonardo da Vinci, II, London 1883, S. 179. — [4] A. Kircher, Mundus Subterraneus, Amsterdam 1665, fol. 67 ff. — [5] Wisotzki, S. 143. — [6] Buache, Carte des profondeurs de l'océan entre l'Afrique et l'Amérique, dressée en 1737; Wisotzki, S. 152. — [7] Buffon, Histoire naturelle, I, Paris 1749, Art. IX, X. — [8] Peschel, Neue Probleme der vergleichenden Erdkunde, Leipzig 1878, S. 73. — [9] Wisotzki, S. 159. — [10] Ebenda, S. 178. — [11] Fr. Schultz, Ueber den allgemeinen Zusammenhang der Höhen, Weimar 1803. — [12] Élie de Beaumont, Notice sur le système des montagnes, Paris 1852; A. Boué, Note sur les idées de M. Élie de Beaumont relativement au soulèvement successif des diverses chaînes du globe, J. Gl., III, S. 558 ff. — [13] Börsch, Von den Unebenheiten des festen Landes, insbesondere vom Gebirge, Marburg 1817. — [14] Ebenda, S. 16. — [15] Penck, Morphologie der Erdoberfläche, II, Stuttgart 1894, S. 606. — [16] Günther, Die bathometrischen Instrumente und Methoden, Z. J., 1882, S. 392 ff., 431 ff. — [17] Wolkenhauer, Zur Geschichte der Tiefseemessungen, D. R. G. St., I, S. 589 ff. — [18] v. Boguslawski-Krümmel, Handbuch der Ozeanographie, I, Stuttgart 1884, S. 51 ff. — [19] Krümmel, Der Ozean; eine Einführung in die allgemeine Meereskunde, Leipzig-Prag 1886, S. 27 ff. — [20] Handbuch der Ozeanographie und maritimen Meteorologie, I, Wien 1883, S. 61 ff.; Handbuch der nautischen Instrumente, Berlin 1882, S. 160 ff. — [21] J. Pfaff, Einige Bemerkungen über Tiefseebestimmungen von Seen, Z. d. ö. A., X, S. 169 ff. — [22] British Association, Section Mechanical Science, At., 1882, S. 280. — [23] Belknap, Deep-Sea Sounding in the North Pacific Ocean, Washington 1875. — [24] Sigsbee, Deep-Sea Sounding and Dredging, Washington 1880. — [25] Krümmel, a. a. O., S. 46. — [26] Jeffreys-Carpenter-Thomson, On the scientific Exploration of the Deep-Sea, P. R. S., XVIII, S. 403 ff. — [27] Krümmel, S. 44. — [28] N. Mg., 1849. S. 124. — [29] White, Apparat zur Tiefenmessung, P. C., 1875, S. 1470 ff. — [30] N. Cusanus, De staticis experimentis fragmentum, Basel 1543; Kästner, Geschichte der Mathematik, II, Göttingen 1797, S. 126. — [31] Blancanus, Sphaera mundi seu cosmographia, Modena 1635, S. 1470 ff. — [32] Varenius-Newton, Geographia generalis, Cambridge 1672, S. 173. — [33] Puehler, Ain kurtze unn grundliche anleytung zu dem rechten Verstand Geometriae, Dillingen 1563, S. 652. — [34] Hooke-Derham, Philosophical Experiments and Observations, London 1726. — [35] Molinelli, De gravium corporum decursu in aqua, C. B., V, 1, S. 280 ff. — [36] Stipriaan Luiscius, Beschreibung einer Meeressonde oder eines Bathometers, mit dem sich jede Tiefe messen lässt, G. A. P., XXX, S. 417 ff. — [37] Ebenda, S. 421 ff. — [38] Emsmann, Physikalisches Handwörterbuch, I, Leipzig 1865, S. 80 ff. — [39] Ergebnisse der Bathometrie, A., XLV, S. 500. — [40] Handbuch etc., I, S. 64; Krümmel, S. 42 ff. — [41] Ebenda, S. 44. — [42] Emsmann, Vorschlag eines neuen Bathometers, D. P. J., IICC, S. 188 ff. — [43] Delabar, Notizen über zwei neue physikalische Apparate, ebenda, IICC, S. 103 ff. — [44] Rühlmann, Ableitung der Formeln für Messungen der Meerestiefen mit Hilfe des Manometers, A. P. C., (2) V, S. 558 ff. — [45] P. Schreiber, Ueber einige neue Apparate zu Tiefenmessungen, D. P. J., CCXIII, S. 312 ff. — [46] Hopfgartner-Arzberger, Ein neues Tiefenlot, Wien 1876. — [47] Stahlberger, Das Rheobarometer, R. E., X, S. 376 ff.. — [48] Seetiefenmesser und Anziehungsmesser von C. W. Siemens in London, D. P. J., CCXXI, S. 43 ff. — [49] Krümmel, Die Tiefseelotungen des Siemensschen Dampfers „Faraday“ im Nordatlantischen Ozean, A. H. m. M., XI, S. 5 ff., 146 ff. — [50] R. Wolf, Handbuch der Mathematik, Physik, Geodäsie und Astronomie, I, Zürich 1870, S. 288. — [51] A. v. Humboldt, Kleinere Schriften, I, Stuttgart-Tübingen 1853, S. 445 ff. — [52] Koopmann-Walter-Breusing, Das Seebuch, Bremen 1876. — [53] Krümmel, D. Oz., S. 35. — [54] v. Jolly, Ueber einige Resultate, welche durch die Kabellegungen für die Physik der Meere gewonnen wurden, J. G. G. M., II, S. 10 ff. — [55] v. Boguslawski-Krümmel, I, S. 390 ff. — [56] Gilder, In Eis und Schnee; die Aufsuchung der Jeannette-Expedition und eine Schlittenfahrt durch Sibirien, Leipzig 1884. — [57] Wyv. Thomson-Murray,

Report on the scientific Results of the Voyage of H. M. S. Challenger, London 1882—1895. — [58] Mohn, Nordhavets Dybder, Temperatur og Strömminger, Christiania 1887. — [59] Makarow, Le „Vitiaz“ et l'Océan Pacifique; Observations hydrographiques faites par les officiers de la Corvette „Vitiaz“ pendant un voyage autour du monde, exécuté de 1886 à 1889, St. Petersburg 1894. — [60] Die Forschungsreise S. M. S. Gazelle, Berlin 1889—1890. — [61] Kayser, Physik des Meeres, Paderborn 1873, S. 165 ff. — [62] Schellen, Das atlantische Kabel, Braunschweig 1867. — [63] v. Boguslawski-Krümmel, I, S. 58 ff. — [64] Petermann, Bodengestaltung des Grossen Ozeans, P. G. M., XXIII, S. 125 ff. — [65] Krümmel, Versuch einer vergleichenden Morphologie der Meeresräume, Leipzig 1879. — [66] v. Boguslawski-Krümmel, I, S. 60. — [67] v. Boguslawski, Die Tiefsee und ihre Boden- und Temperaturverhältnisse, Berlin 1878. — [68] J. J. Wild, Thalatta; an Essay on the Depth, Temperature and Currents of the Ocean, London 1877, S. 11 ff. — [69] Handbuch etc., I, S. 183 ff. — [70] v. Boguslawski-Krümmel, I, S. 51 ff. — [71] Supan, Grundzüge der physischen Erdkunde, Leipzig 1896, S. 169 ff. — [72] Weltkarte zur Uebersicht der Meerestiefen, Berlin 1893. — [73] Supan, a. a. O., Tab. I. — [74] Krümmel, Der Ozean, S. 35 ff. — [75] Maury-Böttger, Physische Geographie des Meeres, Leipzig 1856, S. 199. — [76] v. Boguslawski-Krümmel, I, S. 19 ff. — [77] v. Boguslawski, Bericht über die Ergebnisse der Tiefseeforschung, 1878—1882, W. G. J., IX, S. 451 ff. — [78] Krümmel, Ueber die Ergebnisse der Tiefseeforschung in den nördlichsten Teilen des Atlantischen Ozeans, A. H. m. M., XVII, S. 454 ff. — [79] Supan, S. 193. — [80] v. Etzel, Die Ostsee, Leipzig 1859. — [81] Ackermann, Beiträge zur physischen Geographie der Ostsee, Hamburg 1883. — [82] Krümmel, Die neueren Arbeiten auf dem Gebiete der Physik der Ostsee, P. G. M., XLI, S. 81 ff., 111 ff.; G. Schott, Die Hydrographie des Skager Raks, Kattegats und der Ostsee, G. Z., II, S. 142 ff. — [83] Ackermann, S. 20. — [84] v. Boguslawski-Krümmel, I, S. 90 ff.; Supan, S. 200 ff. — [85] G. Schott, Die Ozeanographie in den Jahren 1895 und 1896, G. Z., IV, S. 36. — [86] v. Boguslawski-Krümmel, I, S. 94. — [87] Philippson, Bosporus und Hellespont, G. Z., IV, S. 22. — [88] Spindler, Materialien zur Hydrologie des Marmara-Meeres (russisch), St. Petersburg 1896; Erforschung des Marmara-Meeres, G. Z., III, S. 648. — [89] Krümmel, Die Fortschritte der Ozeanographie 1895 und 1896, W. G. J., XX, S. 210. — [90] v. Boguslawski-Krümmel, I, S. 96 ff. — [91] G. Schott, a. a. O., S. 39. — [92] v. Boguslawski-Krümmel, I, S. 118. — [93] Supan, S. 199. — [94] v. Boguslawski-Krümmel, I, S. 48. — [95] Krümmel, Bemerkungen zur Tiefenkarte des Indischen Ozeans, Z. w. G., II, S. 116 ff. — [96] v. Boguslawski-Krümmel, I, S. 110 ff. — [97] Krümmel, Das Relief des australasiatischen Mittelmeeres, Z. w. G., III, S. 1 ff. — [98] v. Boguslawski-Krümmel, I, S. 100 ff. — [99] Tiefenmessungen im Stillen Ozean, G. Z., II, S. 56. — [100] v. Boguslawski-Krümmel, I, S. 102. — [101] Supan, Die grössten Meerestiefen, P. G. M., XLII, S. 96. — [102] Supan, Grundzüge etc., S. 198. — [103] K. J., VII, S. 232 ff. — [104] Supan, Grundzüge etc., S. 197. — [105] Krümmel, Der Ozean, S. 71. — [106] Günther, Handbuch der mathematischen Geographie, Stuttgart 1890, S. 318 ff. — [107] Schlömilch, Ueber den mittleren Radius des dreiachsigen Ellipsoides, V. s. G. W., M. P., XI, S. 87 ff. — [108] Drobisch, Ueber die mittleren Radien der Linien, Flächen und Körper, ebenda, X, S. 124 ff. — [109] Grunert, Ueber die mittlere Entfernung einer Figur von einem Punkte oder über die sogenannte mittlere Entfernung des Ackers vom Hofe, Greifswald 1840. — [110] Peschel, Neue Probleme der vergleichenden Erdkunde, Leipzig 1878, S. 75 ff. — [111] Krümmel, Versuch etc., S. 71 ff. — [112] Supan, Besprechung hiezu, M. G. G. W., 1879, S. 305 ff. — [113] v. Boguslawski, Desgleichen, V. G. E. B., VI, S. 231 ff. — [114] Krümmel, Die mittlere Tiefe der Ozeane, Z. w. G., I, S. 40 ff. — [115] Karstens, Eine neue Berechnung der mittleren Tiefe der Ozeane, Kiel 1894. — [116] De L'Apparent, La distribution des conditions physiques à la surface du globe, B. S. G., (7) XVI, S. 149 ff. [117] Murray, On the Height of the Land and the Depht of the Ocean, Sc. G. M., IV, S. 1 ff. — [118] v. Tillo, Die mittlere Höhe der Kontinente und die mittlere Tiefe der Ozeane, P. G. M., XXXV, S. 48 ff. — [119] Heiderich, Die mittleren Erhebungsverhältnisse der Erdoberfläche nebst einem Anhange über den wahren Betrag des Luftdruckes auf der Erdoberfläche, Wien 1891; P. G. A., V, 1. — [120] H. Wagner, Areal und mittlere Erhebung der Landflächen, sowie der Erdkruste, B. G., II, S. 745 ff. — [121] Ebenda, S. 749. — [122] v. Hochstetter, Die Erdbebenflut im Pazifischen Ozean, P. G. M., XV, S. 222 ff. — [123] Geinitz, Das Erdbeben von Iquique am 9. Mai 1877 und die dadurch erzeugte Flut im Grossen Ozean, N. A. L. K. A., XL, Nr. 9. — [124] Supan, Grundzüge etc., S 198. — [125] Krümmel, Der Ozean, S. 53. — [126] Ebenda, S. 55. — [127] Ebenda, S. 60. — [128] Makarow, a. a. O., S. 160 ff. — [129] Contin, Sul profondissimo gorgo esistente nel campo interno del porto di Malamocco, At. V., 1895, 1.—3. Heft. — [130] O. Marinelli, Intorno alla origine della profonda cavità esistente nel porto di Malamocco, R. G. I., III, 4. Heft. — [131] Peucker, Mittlerer Böschungswinkel und wirkliche Oberfläche topographischer Formen, V. G. K., V, 1891, S. 543 ff. — [132] Dietrich, Untersuchungen über die Böschungsverhältnisse der Sockel ozeanischer Inseln, Greifswald 1892. — [133] Buchanan, On Oceanic Shoals discovered in the S. S. Dacia in October 1883, P. S. E., XIII, S. 428. — [134] Penck, a. a. O., II, S. 609. — [135] Ebenda, II, S. 612. — [136] Peschel, a. a. O., S. 84. — [137] Supan, a. a. O., S. 194. — [138] Krümmel, a. a. O., S. 37. — [139] v. Boguslawski-Krümmel, I, S. 65 ff. — [140] v. Pourtalès, Der Boden des Golfstromes und der atlantischen Küsten, P. G. M., XVI, S. 393 ff. — [141] E. C. Agassiz, L. Agassiz' Leben und Briefwechsel, Berlin 1886. — [142] Handbuch der nautischen Instrumente, Berlin 1882, S. 179 ff.; Handbuch etc., I, S. 80 ff. — [143] Torell-Nordenskiöld-Passarge, Die schwedischen Expeditionen nach Spitzbergen und Bären-Eiland, Jena 1869, S. 370 ff. — [144] G. Karsten, Dr. Heinr. Ad. Meyer (1822—89), B. w. U. M., 3. Heft. — [145] Murray-Renard, Deep-Sea Deposits, London 1891. — [146] Murray-Renard, On the Nomenclature, Origin and Distribution of Deep-Sea Deposits, P. S. E., XII, S. 495 ff. — [147] v. Boguslawski-Krümmel, I, S. 66 ff. — [148] Supan, S. 200. — [149] Higgin, Deltaic Growth, N., XIX, S. 565. — [150] Doyle, Deltaic Growth, N., XIX, S. 506. — [151] Thoulet, De l'étude de l'océanographie par les sociétés de géographie ayant leur siège au voisinage de la mer, B. S. G. C. B., (2) XVIII, S. 129 ff. — [152] Thoulet, Les vases marines et leur classification, C. R., CXIX, S. 968 ff. — [153] Krümmel, S. 79 ff. — [154] Häckel, Die Radiolarien, Berlin 1862—1888. — [155] v. Boguslawski-Krümmel, I, S. 177; P. G. M., XV, S. 21 ff. — [156] Pouchet-Diguet, C. R. S. B. P., V, S. 582 ff.; K. J., IV, S. 188 ff., V, S. 189. — [157] Die Ergebnisse der Untersuchungsfahrten S. M. Kanonenboot „Drache“ in der Nordsee, Berlin 1886, S. 23 ff. — [158] Schmarda, Bericht über die Fortschritte unserer Kenntnis von der geographischen Verbreitung der Tiere, W. G. J., VIII, S. 148. — [159] Bessels, Die amerikanische Nordpolexpedition, Leipzig 1879, S. 321. — [160] v. Boguslawski-Krümmel, I, S. 69. — [161] Marshall, Die Tiefsee und ihr Leben, Leipzig 1888. — [162] Handbuch etc., I, S. 232. — [163] J. Walther, Einleitung in die Geologie als historische Wissenschaft, III, Jena 1894. — [164] Thoulet, Expériences sur la sédimendation, A. M., (8) XIX, S. 35 ff. — [165] Weule, Ueber Sedimentsbildung, N. G., I, S. 99 ff. — [166] Tietze, Der VII. internationale Geologenkongress in St. Petersburg, V. G. R. 1897, Nr. 15; R. Hörnes, Bemerkungen zu dieser Abhandlung, Graz 1898. — [167] Krümmel, Die äquatorialen Meeresströmungen des Atlantischen Ozeans und das

allgemeine System der Meereszirkulation, Leipzig 1877, S. 8. — [168] A. Kirchhoff, Besprechung hiezu, J. Lt., 1877, S. 52. — [169] Krümmel, Versuch etc., S. 61 ff. — [170] Zöppritz, Besprechung zur erstgenannten Schrift, G. G. A. 1878, S. 517. — [171] Krümmel, Versuch etc., S. 65. — [172] Strabon, Geographia, lib. II, cap. 4. — [173] C. Ritter, Einleitung zur allgemeinen vergleichenden Erdkunde, Berlin 1832, S. 123 ff. — [174] Ratzel, Politische Geographie, München 1898, Kap. XVIII. — [175] C. Förster, Zur Geographie der politischen Grenze, mit besonderer Berücksichtigung kurvimetrischer Bestimmungen der sächsischen und schweizerischen Grenze, Leipzig 1893. — [176] Nagel, Ueber die Küstengestaltung der Erdteile, B. A. E., XII, S. 490 ff.; Krimmel, Nekrolog des königl. württembergischen Oberstudienrates v. Nagel, Tübingen 1884, S. 5. — [177] P. G. M., IX, S. 309 ff.; S. 406 ff.; X, S. 91 ff. — [178] Krümmel, Versuch etc., S. 38. — [179] Penck, Morphol. etc., I, S. 71 ff. — [180] Precht, Untersuchungen über horizontale Gliederung, Z. m. G., E. H., Nr. 1, 1889. — [181] Wisotzki, Zur horizontalen Dimension nach C. Ritter, Stettin 1887. — [182] Ehrenburg, Studien zur Messung der horizontalen Gliederung von Erdräumen, V. P. M. G. W., (2) XXV, S. 29 ff. — [183] Günther, Die Küstenentwickelung, ein mathematischer Beitrag zur vergleichenden Erdkunde, A. M. P., LVII, S. 277 ff.; Die wahre Definition des Wortes Küstenentwickelung, V. II. d. G., 1883, S. 140 ff. — [184] Penck, a. a. O., I, S. 67 ff. — [185] V. II. d. G., 1883, S. 146. — [186] Schütt, Meerferne und Küstenerreichbarkeit im mittleren Europa, Hamburg 1891. — [187] Michael, Meerfernen des Deutschen Reiches, J. V. G. W., XV. — [188] W. Schmidt, Ueber einige geographische Veranschaulichungsmittel, Wien-Olmütz 1889, S. 158 ff. — [189] Penck, a. a. O., I, S. 70 ff., 122 ff. — [190] Rohrbach, Ueber mittlere Grenzabstände, P. G. M., XXXVI, S. 76 ff., 89 ff.; Ueber graphische Methoden, R. F., XI. — [191] Hettner, Der gegenwärtige Stand der Verkehrsgeographie, G. Z., III, S. 697.

Kapitel III.

Temperatur, Salzgehalt und chemische Zusammensetzung der Meere.

§. 1. Physik und Chemie des Meerwassers. Die Meeresstatik im Thouletschen Sinne (S. 376) findet, wenigstens soweit das Wasser im tropfbaren Zustande in Betracht kommt, ihren Abschluss in diesem Kapitel. Von den physikalischen Haupteigenschaften des ruhigen Meerwassers haben die beiden optischen, Farbe und Durchsichtigkeit, schon im ersten Kapitel betrachtet werden müssen, weil durch dieselben das Aussehen des Meeres, der äussere Eindruck, den dasselbe hervorbringt, zunächst bedingt erscheint. Die übrigen physikalischen und die mit denselben enge zusammenhängenden chemischen Eigenschaften des Meerwassers sollen jetzt vereint der Erörterung unterzogen werden.

An erster Stelle ist es die Wärme, die uns beschäftigen muss, und zwar haben wir von der Temperatur der Oberfläche die Temperaturen in grösseren Tiefen wohl zu trennen. Nächstdem ist die Dichte des Wassers ein wichtiger Faktor, der unmittelbar abhängt von dem Salzgehalte. Dies ist jedoch kein ganz einfacher Begriff, sondern es muss, da die verschiedensten Stoffe zusammenwirken, um das Meerwasser salzig — und damit zugleich auch schwerer als das gewöhnliche Wasser — zu machen, auch der chemischen Komposition der Erdmeere besondere Aufmerksamkeit zugewendet werden.

Ehe wir uns auf die Kennzeichnung der hiemit umschriebenen Einzelfragen einlassen, haben wir noch eine sehr einflussreiche Vorfrage zu erledigen. Die elementare Physik lehrt, dass Süsswasser sein Dichtemaximum, also den Zustand höchster Konzentration, bei $+ 4^{0}$ C. erreicht, so dass bei weiterem Sinken der Temperatur wieder eine Ausdehnung eintritt. Es leuchtet ein, dass es nichts weniger denn gleichgültig ist, ob salziges Wasser sich in dieser Hinsicht ähnlich wie ungesäuertes verhält, oder ob ein grundsätzlicher Unterschied zwischen dem Wasser der Meere und der Binnengewässer obwaltet. Man erinnerte sich der Notwendigkeit, hierüber klar zu werden, schon früh, nachdem man überhaupt gesehen hatte, dass gefrorenes Wasser leichter als flüssiges ist. Die ersten Bestimmungen des Dichtemaximums für Süsswasser waren nach Rosenberger [1] noch sehr ungenau, weil man auf die Ausdehnung des Glases Rücksicht zu nehmen

vergessen hatte, und erst Rumford [2] fixierte den Konzentrationspunkt zwischen 4° und 5°, indem er die Temperatur feststellte, bei welcher die obersten Flüssigkeitsschichten im Gefässe niederzusinken sich anschicken.

§. 2. **Das Dichtemaximum des Meerwassers.** Seit 1819 steht das Problem, das von dem des normalen Wassers abweichende Dichtemaximum salzigen Wassers zu bestimmen, auf der wissenschaftlichen Tagesordnung. Marcet (1819), P. Erman (1827 und 1837), G. Karsten (1845), C. Neumann (1861) erklärten sich auf Grund ihrer Versuche für ein fundamental verschiedenes Verhalten beider Gattungen von Wasser [3], aber in der Ozeanographie vermochte die richtige Anschauung der Physiker lange nicht durchzudringen. Erst durch eine Reihe neuer Experimentaluntersuchungen wurde entschieden, dass Meerwasser sein besonderes Maximum der Konzentration besitzt, und zwar nur ein einziges und nicht, wie Mühry [4] geglaubt hatte, ein doppeltes. Es ist dies durch die verschiedensten Methoden gleichmässig bestätigt worden, so dass heute kein Zweifel mehr zulässig erscheint.

Wer sich für die methodische Seite der Sache interessiert, findet umfassende Belehrung in einer Abhandlung von L. Weber [5]. Abgesehen von jener Abkühlungsmethode, welche, als die nächstliegende, bereits Rumford (s. o.) zur Anwendung gebracht hatte, sind die galvanometrische Methode von Exner [6] und die hydrodynamische Methode von Joule [7] zu nennen. Bei letzterer werden zwei Gefässe, die mit Flüssigkeiten von ungleicher Dichte gefüllt sind, durch eine obere und untere Röhre mit einander verbunden, in welcher, sobald durch Oeffnung zweier Hähne die Verbindung hergestellt ist, Strömungen beobachtet werden. Oben geht ein Strom von der leichteren zur schwereren, unten von der schwereren zur leichteren Flüssigkeit. Nur in einem Falle ist der Doppelstrom nicht wahrzunehmen; dann nämlich, wenn das arithmetische Mittel der Stände der beiden Thermometer, welche in je eines der obigen Gefässe eingesenkt sind, die Temperatur des Dichtemaximums angibt.

Exaktere Resultate dürfte noch das von Rosetti [8] empfohlene Verfahren liefern, welches sich des sogenannten Dilatometers (Ausdehnungsmessers) bedient. Wenn V_t das Volumen einer Salzwassermasse bei t^0 Wärme darstellt, so besteht nach Rosetti [9], der sich die Ausgleichungsmethode Schiaparellis [10] zu eigen gemacht hatte, zwischen V_t und t eine Bedingungsgleichung, welche für das grosse Intervall zwischen -5^0 und $+100^0$ in folgender Gestalt allen Anforderungen genügt: $V_t = 1 + 0{,}00000837991\,(t-4)^2 - 0{,}000000378702\,(t-4)^{2,6} + 0{,}0000000224329\,(t-4)^3$. Das Volumen V_4, welches dem Konzentrationsmaxium des reinen Süsswassers entspricht, ist dabei ersichtlich als Einheit gewählt. Dieser Gleichung gemäss berechnen sich spezifisches Gewicht s, Temperatur des Dichtemaximums t_d und Temperatur des Gefrierpunktes t_g für Meerwasser, wie folgt:

Juli: $s = 1{,}0266987$; $t_d = -3{,}21^0$; $t_g = -1{,}90^0$;
November: $s = 1{,}0281413$; $t_d = -3{,}90^0$; $t_g = -2{,}10^0$.

Der mit voller Bestimmtheit zuerst von Despretz [11] aufgestellte Satz, dass jeder Salzlösung, also auch dem Meerwasser, ein Maximum der Dichte bei annähernd konstanter Temperatur zukomme, ist damit bewahrheitet.

Während die bisher erwähnten Untersuchungen wesentlich nur den Standpunkt des im Laboratorium arbeitenden Experimentators bekundeten, suchte Zöppritz [12] gleichzeitig den Interessen der Physik und der physischen Geographie gerecht zu werden, und seine umfänglichen Versuchsreihen passen sich thunlichst den im freien Meere bestehenden Verhältnissen an. Als abschliessendes Ergebnis stellt derselbe das folgende hin [13]: Im strömungslosen Meere nimmt das Wasser bis zu seinem Gefrierpunkte hin an Dichte zu. Hiedurch unterscheidet sich Meerwasser prinzipiell von gewöhnlichem Wasser, und wenn trotzdem in Ausnahmefällen Zunahme der Temperatur und wachsender Druck Hand in Hand gehen, so ist an eine Abkühlung von der Oberfläche her zu denken. Wenn das Wasser der See sich bewegt, so verwickeln sich die sonst ein-

fachen Verhältnisse einigermassen; bei bewegtem Wasser rückt das sonst zwischen -3^0 und -4^0 schwankende Dichtemaximum nach Wyville Thomson bis zu $-2,55^0$ hinauf.

§. 3. **Die Entwickelung der Thermometrie des Meeres.** Wir werden bald erfahren, dass und warum die in §. 2 ermittelten Thatsachen für die Lehre von der Wärmeverteilung im Meere von entscheidender Bedeutung geworden sind. Zuvörderst haben wir aber zuzusehen, wie dieser Teil der ozeanischen Statik sich aus unscheinbaren Anfängen heraus entwickelte. Neben der älteren Darstellung von Muncke [14] gewährt uns der sorgfältige geschichtlich-kritische Essay von Prestwich [15] die für solchen Zweck notwendigen Aufschlüsse.

Als erster, der — und zwar auf einer Fahrt nach der Nordwestküste Afrikas — die Wasserwärme in grösseren Meerestiefen mass, wird ein englischer Kapitän Ellis genannt [16]; sein Apparat war von Hales konstruiert worden. Weitere Folgen hatte der erste Versuch nicht, vielmehr geht aus Prestwichs Angaben hervor, dass bis 1830 — als Muncke seinen Bericht (s. o.) in der Neuauflage des Physikalischen Lexikons von Gehler erstattete — nur 226, und bis 1833 — Dumont d'Urville — auch erst 421 derartige Messungen vorlagen. Parrot vervollkommnete das Halessche Wasserthermometer [17], und in dieser Form diente es den Messungen eines Scoresby (1810 und 1822), v. Kotzebue (1815), Wenchope (1816), J. Franklin (1818) und Lenz (1823). Der letztere verbesserte auch [18] die Methode, indem er darauf achtete, dass das eingesenkte Thermometer verschiedene temperierte Schichten zu passieren hat, wie er es auch war, der die unerwartete Thatsache erkannte, dass sogar in den Tropenmeeren die Temperatur in grossen Tiefen eine sehr niedrige ist. Saussure (1780) und Péron (1800) bedienten sich der Vorsicht, den Wärmemesser träge zu machen, d. h. ihn in einer Einhüllung schlecht leitende Stoffe untertauchen zu lassen. Während man anfänglich ohne besondere Wahl Tiefseetemperaturen genommen hatte, leitete Castberg [19] über zu dem jetzt allgemein adoptierten Systeme der Reihentemperaturen [20]; man lässt das Thermometer gleich anfangs bis zu einer sehr bedeutenden Tiefe (gegen 3000 m) hinabgehen und lässt es dann immer nach 100 m zurückgelegter Vertikaldistanz stille stehen, damit es die an fraglicher Stelle obwaltende Temperatur möglichst genau anzeigt; erst innerhalb der Schicht zwischen der Oberfläche und 100 m Tiefe nimmt man eine möglichst grosse Anzahl von Bestimmungen in beliebigen Abständen vor. Statt des Halesschen Thermometers fand dann mehr und mehr dasjenige von Six (S. 54) Anklang, und mit ihm haben insbesondere v. Krusenstern (1803) und John Ross (1817) gearbeitet, während wieder etwas später Buntens Instrument [21] von den Seefahrern vorgezogen ward, welches man durch einen umschliessenden Metallzylinder gegen den mit der Tiefe rasch wachsenden Druck des Wassers (vgl. S. 400) geschützt hatte. Auf dieser Vorrichtung beruhten die von Arago bearbeiteten submarinen Wärmebestimmungen der Expedition von Du Petit Thouars. Martins und Bravais benützten bei ihrer Nordfahrt (1839) ein Tiefseethermometer von Walferdin [22], und Pullen (1857) machte von einem ebensolchen Instrumente des Admirals Fitzroy Gebrauch [23]. Prestwich reduzierte die Angaben, welche von den vorgenannten Forschern geliefert waren, derart, dass sie im strengen Sinne vergleichbar wurden, und schuf so eine erste Karte der Tiefenisothermen oder, um Wyville Thomsons Bezeichnung zu wählen, der Isothermobathen.

§. 4. **Die Tiefseethermometer neuester Zeit.** Je weitere Fortschritte die ozeanische Physik machte, um so grösser mussten auch die Ansprüche werden, welche sie an die unterseeische Wärmemessung, namentlich in sehr grossen Tiefen, erhob. Solange die letzteren eine gewisse Grenze nicht überschreiten, sind träge, d. h. (s. o.) in einen dicken Kautschukmantel eingelassene Thermometer nach H. A. Meyers Konstruktion (S. 403) sehr bequem; Krümmel [24] bemerkt, dass in

den flachen deutschen Meeren mit den unempfindlichen Thermometern die besten Erfahrungen gemacht worden seien. Man kann dieselben auch so aptieren, wie es C. Lang [25] vorgeschlagen hat. Das Innere des Zylinders, in welchem das von Hartgummi umgebene Thermometer sich befindet, kommuniziert nach aussen durch drei Kugelventile, die sich beim Aufziehen schliessen. Nur ist eben der unvermeidliche Umstand nachteilig, dass das Instrument lange Zeit an dem Orte verbleiben muss, auf dessen Wärmebestimmung es abgesehen ist. Die grossen wissenschaftlichen Expeditionen unserer Zeit bedienten sich hauptsächlich dreier Apparate, die eine besondere Besprechung erheischen; dabei sind die Beschreibungen des deutschen Admiralitätswerkes [26] zur Norm genommen worden.

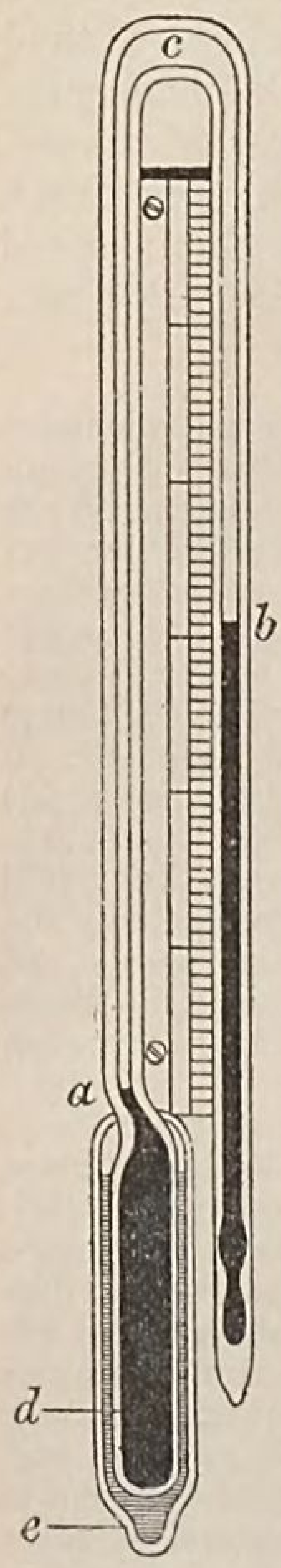
a) System Neumayer. In der zu versenkenden Kapsel ist ein Thermometer und zugleich eine Geisslersche Röhre (I, S. 603) eingeschlossen, in welcher ein Funke durch den Willen des Beobachters jederzeit zum Ueberspringen gebracht werden kann [27]. Hinter dem Thermometer ist lichtempfindliches Papier auf eine Trommel mit vertikaler Achse aufgerollt, welche durch ein Uhrwerk zu konstanter Umdrehung veranlasst wird. Die Thermometerröhre steht der Rotationsachse genau parallel, und wenn also das Funkenlicht das rotierende Papier längs einer Seitenlinie schwärzt, so bleibt ein Stück dieser letzteren intakt, welches der Länge der Thermometersäule gerade gleich ist. Es tritt, wie man sieht, dasselbe Registrierungsprinzip in Kraft, welchem wir bereits in der Meteorologie (S. 77) begegnet sind. Den Funkenblitz möchte Michaelis [28] durch eine seiner Ansicht nach sicherer wirkende Glühlichtlampe ersetzt wissen. Das von Gintl [29] geäusserte Bedenken, ob nicht vielleicht die elektrische Lichtentwickelung die Temperatur innerhalb des Beobachtungskastens spontan hinaufsetzen würde, ist noch nicht endgültig gehoben; überhaupt wäre sehr zu wünschen, dass die Praktiker das Neumayersche Registrierungsverfahren noch ausgiebiger erproben möchten, als sie es bisher gethan haben.

b) System Miller-Casella [30]. Die betreffenden Instrumente sind ihrem Wesen nach Sixsche Extremthermometer (S. 54). Eine U-förmig gebogene Glasröhre ist an einem vertikal zu haltenden Brette so befestigt, dass das Verbindungsstück unten liegt; das Ende des einen vertikalen Röhrenteiles (R_1) ist wenig, dasjenige des anderen (R_2) stark erweitert; als thermoskopische Substanz dient Alkohol mit einer Kreosotbeimischung, während die untere Hälfte des Hufeisenrohres mit Quecksilber gefüllt ist, und zugleich befindet sich in R_1 komprimierte Luft. Wenn die Temperatur steigt, so dehnt sich die Flüssigkeit in R_2 aus und veranlasst ein Ansteigen des Quecksilbers im anderen Schenkel, während bei sinkender Temperatur die Luft in R_1 das Quecksilber wieder nach unten drängt. Auf jedem Quecksilbermeniskus ruht ein kleines Eisenstiftchen, welches stets nach oben vorangeht und den jeweilig höchsten Stand in beiden Schenkeln angibt, weil eine ganz dünne Drahtspirale, welche jedes Stäbchen umgibt, dasselbe am Herabfallen hindert. Ein Magnet gestattet, bei jedem Neugebrauche die Stifte wieder an den richtigen Platz zu bringen, so dass stets die Maximal- und Minimaltemperatur von neuem abgelesen werden kann. Selbst noch in Tiefen bis zu 8000 m haben diese automatischen Thermometer sich Krümmels Aussage [31] zufolge bewährt, und nur dann werden aus naheliegendem Grunde ihre Notate unzuverlässig, wenn sich eine kalte Wasserschicht zwischen zwei wärmeren eingeschoben findet.

c) System Negretti-Zambra [32]. In solchen ungünstigen Ausnahmefällen wird die Erfindung der beiden italienischen, aber in London lebenden Mechaniker nahezu unentbehrlich, weshalb auch J. Wolf, Luksch und Köttstorfer den Rat erteilen, die beiden Kombinationen Miller-Casella und Negretti-Zambra stets vereinigt anzuwenden. Auch gewinnt man so am sichersten die Temperatur gerade des Ortes, bis zu welchem das Instrument gelangt ist. Auch diesmal ist die Thermometerröhre (Fig. 87) U-förmig gebogen, und die Umbiegungsstelle kehrt zuerst ihre Konvexität c nach oben. Von c aus erweitert sich die Röhre ganz langsam nach beiden Seiten, und bei a verengt sich dieselbe sehr bedeutend. Das Thermometergefäss d ist für sich in eine — selbst wieder grössten-

teils mit Quecksilber gefüllte — Glaskapsel e eingesetzt, was nur dem Zwecke der Druckverminderung dient. Ehe man die Messung vornimmt, bringt man zuerst die gesamte Quecksilbermasse auf die Seite des Gefässes; dann beginnt die Versenkung, und wenn man dem Instrumente hinlänglich lange Zeit gelassen hat, um sich dem Temperaturstande seiner Umgebung zu akkommodieren, so zieht man es wieder auf. Der Ruck, den diese Bewegung mit sich bringt, veranlasst ein Umkippen des Apparates; dadurch reisst die Quecksilbersäule bei a ab, und alle Flüssigkeit, welche sich oberhalb dieser Engstelle befand, strömt in den anderen Schenkel b über, so dass hier direkt die Ablesung gemacht werden kann, wenn das Thermometer wieder aufgeholt ist. Eine weitere Drehung ist nicht möglich, weil sich gleich wieder eine Hemmung verschiebt. Bei starkem Schaukeln des Schiffes kann es freilich sich ereignen, dass die Umdrehung ohne Zuthun des Beobachters erfolgt, und dieser sähe sich so einem falschen Resultate gegenüber, wenn er nicht (s. o.) dadurch, dass er gleichzeitig an einem Miller-Casella-Instrumente abliest, die Möglichkeit einer genauen Kontrolle besässe.

Fig. 87.



Damit wären denn die modernen Methoden der submarinen Thermometrie ausreichend erläutert. Absolute Gewähr vermögen natürlich die immerhin feinen, deshalb auch Störungen leichter unterworfenen Apparate auch nicht zu gewähren. Wenn man den Federbarometern (vgl. S. 58) den Vorwurf einer gewissen Launenhaftigkeit macht, so bleiben, wie Mohn auf Grund seiner Studien bei der „Vöringen"-Expedition (S. 402) betont, auch die Tiefseethermometer von diesem Einwande nicht verschont. Werner Siemens' Idee, Verschiedenheiten der Wassertemperaturen durch verschieden starke Leitungswiderstände des einen Draht passierenden Stromes zum Ausdruck zu bringen, ist zwar theoretisch unangreifbar, aber die vom „Challenger" angestellte Prüfung des Gedankens lässt an dessen Realisierbarkeit zweifeln. Inwieweit die Verwendung des Telephons, welches durch Einschalten von Widerständen zum Schweigen gebracht werden kann, Boden gewinnen wird [34], lässt sich nach den bisherigen, nur auf geringere Tiefen sich erstreckenden Proben noch nicht sicher ermessen. Von Whipple und Warren sind schon einige Versuche angestellt worden. Als ein sehr zu beachtender Umstand ist auch der hervorzuheben, dass die Temperaturänderung oft schon auf kleine Entfernungen hin eine namhafte ist, insonderheit da, wo zwei abweichend temperierte Strömungen sich begegnen. Von J. Girard wird [35] ein sehr bezeichnender Fall dieser Art aus dem Japanischen Meere angeführt.

§. 5. **Allgemeine Sätze über die Wärmeverteilung in den Meeren.** Wir beginnen mit den Oberflächentemperaturen. Dieselben sind, wie sich von selbst versteht, durch den klimatischen Charakter der Erdgegend bestimmt, welchem der betreffende Meeresteil angehört. Nur macht sich die uns aus der Lehre von Küsten- und Binnenklima (S. 272) wohlbekannte thermisch-konservative Natur der Meere jetzt wieder geltend [36], d. h. es gilt die Regel, dass die mittlere Temperatur der Meeresfläche durchweg höher als die der darüber lagernden Atmosphäre ist.

Bei den offenen Ozeanen ist nach Köppen [37] die Differenz die geringste; in Binnenmeeren steigert sie sich bis auf 2°; immerhin fand G. Schott [38] bei seinen direkten Beobachtungen auch den Indischen Ozean durchschnittlich und beinahe einen ganzen Grad wärmer als die Aussenluft. Mit den Jahreszeiten variiert auch die Oberflächentemperatur, ohne dass allerdings dafür ein bestimmtes Gesetz anzugeben wäre; der Betrag der Jahresschwankung ist nicht einmal für den nämlichen Parallel konstant. Nennen wir a den Betrag der jährlichen Temperaturamplitude, so gilt nach G. Schott [39] die Relation $1^\circ < a < 15^\circ$, und es wird an diese Feststellung zugleich die folgende Bemerkung geknüpft: „Das Charakteristikum der geographischen Verteilung der Grösse der mittleren Jahresschwankung liegt darin, dass die Amplitude im Durchschnitt und in allen Ozeanen ohne Ausnahme mit nur relativ geringen Beträgen in den äquatorialen Gegenden auftritt, dass sie polwärts auf den beiden Halbkugeln zunimmt, aber nur etwa bis nach 30°—35°—40° Breite hin, worauf noch weiter polwärts eine entschiedene Abnahme der jährlichen Temperaturschwankung folgt, natürlich mit lokalen Abweichungen.“ Schott hat für die Oberfläche aller Meere die Isamplituden — wir würden zur Vermeidung der hybriden Form lieber Aequiamplituden sagen — konstruiert, Kurven, welche jeweils durch alle Orte von gleicher Differenz zwischen jährlichem Temperaturmaximum und Temperaturminimum hindurchgelegt werden können.

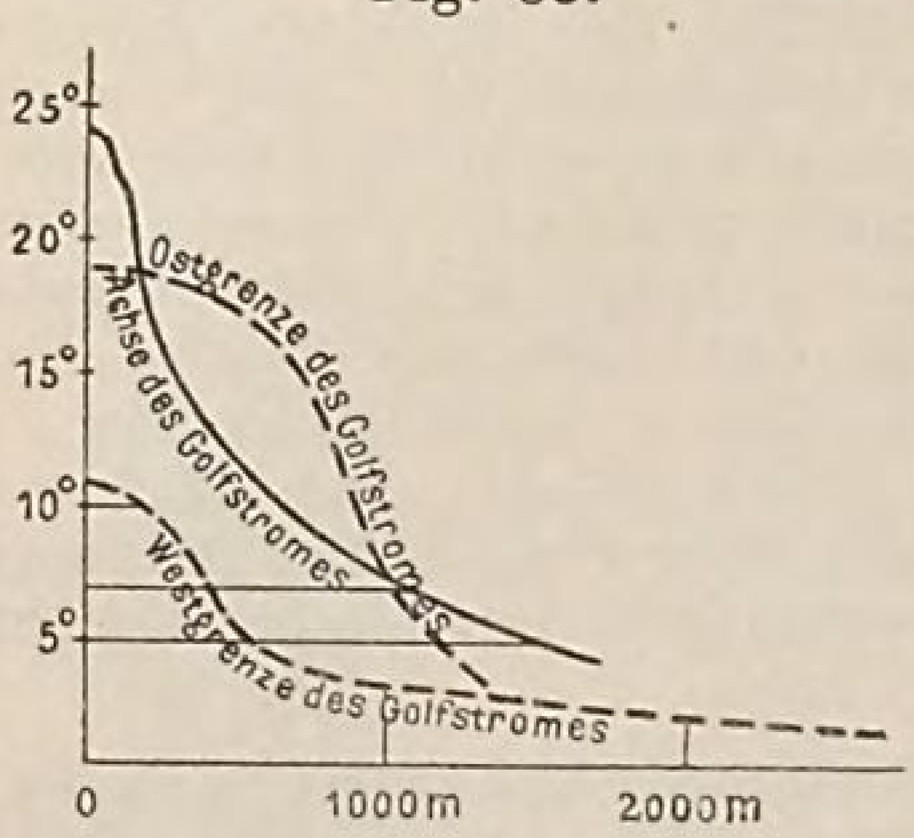
Gäbe es keine Strömungen im Meere, so würden die Meeresisothermen, sowohl in den extremen Monaten, wie auch im Jahresmittel, ziemlich denselben Verlauf wie die Isothermen der Atmosphäre (S. 250) erkennen lassen. Für die Monate Februar und August, welche sich, eben der grossen Wärmekapazität des Wassers halber, zur Repräsentation der entgegengesetzten Monatstypen noch besser als Januar und Juli eignen, hat Krümmel [40] die Isothermen des Oberflächenwassers gezeichnet. Man kann auf solchen Karten den Einfluss der warmen und kalten Meeresströmungen direkt mit dem Auge verfolgen. Speziell für den Nordatlantik geben nach dieser Seite hin Krümmels grössere Karte [41] und die dänischen Karten, welche fünfzehnjährige Beobachtungen (1876—90) graphisch darstellen [42], erwünschten Aufschluss. Man sieht, um nur eines anzufügen, wie zwischen Island und der Südspitze Grönlands die Isothermen südwestlich umliegen, weil hier der mit Eis bepackte, an der Ostseite von Grönland herabkommende Strom seine Eismassen bis in die Davis-Strasse hinaufsendet. Jede stärkere Ausbuchtung der Oberflächenisothermen weist auf den Einfluss einer ausgesprochen temperierten Meeresströmung hin.

Die Temperatur der Oberfläche ist nur für eine ganz dünne Schicht mafsgebend; tiefer nach innen zu machen sich andere Verhältnisse der Wärmeverteilung geltend. Da zumeist für die nämliche Niveaufläche, wenn nicht vertikale Zirkulation eine Aenderung bewirkt, auch annähernd gleiche Temperatur herrscht, so spricht man zutreffend von einer Wärmeschichtung der Meere. Um für dieselbe sich auf eine übersichtliche Terminologie beziehen zu können, hat Krümmel [43] die nachstehenden Bezeichnungen vorgeschlagen. Homotherm (ὁμός, übereinstimmend) ist eine Flüssigkeitsmasse, wenn zwischen zwei begrenzenden Niveauflächen keine Temperaturverschiedenheit stattfindet; anotherm (ἄνω, oben) ist sie, wenn es oben warm ist und nach unten zu stetig kälter wird; katotherm (κάτω, unten) soll sie heissen, wenn die Wahrnehmungen bei tieferem Eindringen die umgekehrten sind; mesotherm (μέσος, in der Mitte befindlich), wenn eine mittlere Schicht wärmer als die beiden sie oben und unten begrenzenden Schichten ist; dichotherm (δίχα, zweigeteilt), wenn die Zwischenschicht relativ kalt, jede der Begrenzungsschichten relativ warm ist; poikilotherm (ποικίλος, bunt) endlich, wenn überhaupt keine Regelmässigkeit in der vertikalen Anordnung der Temperatur zu bemerken ist. Der homothermen Wärmeerfüllung steht generell die heterotherme (ἕτερος, anders geartet) gegenüber. Dieselbe Bezeichnung kann auf die Schich-

tungsverhältnisse des Salzes im Meere ohne weiteres übertragen werden (homohyalin, heterohyalin u. s. w.).

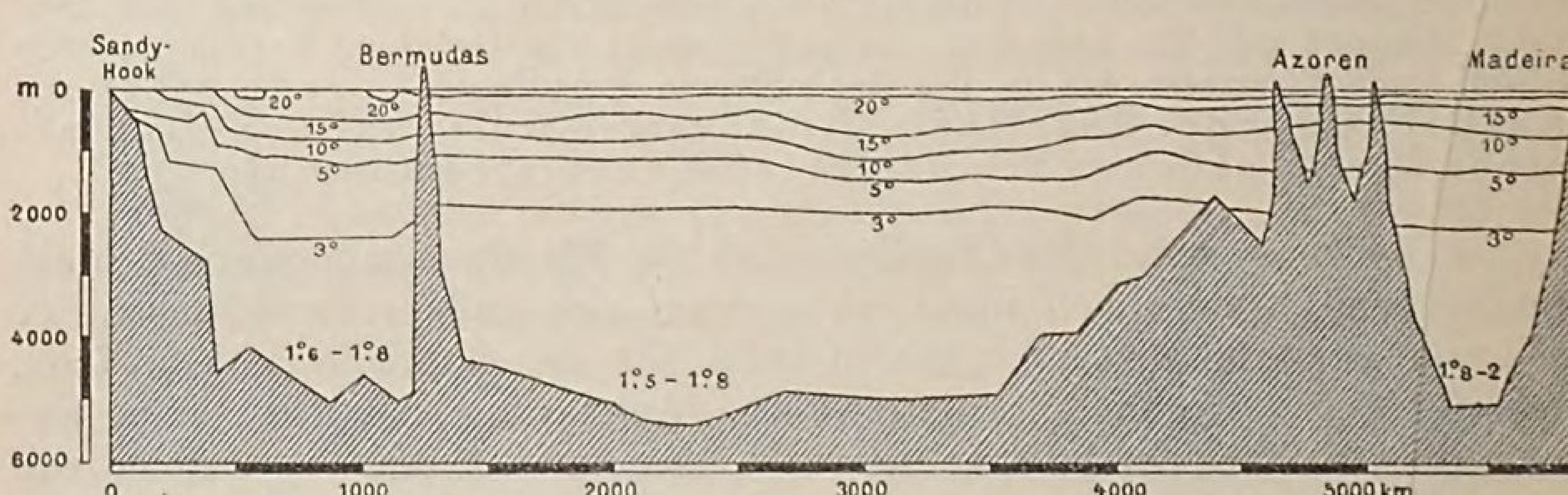
Um die Zustände auf grössere Entfernungen hin leichter überblicken zu können, hält man sich an die von Prestwich (S. 420) eingeführten Tiefsee-isothermen oder, um den durch die „Challenger"-Expedition und Wyville Thomson (S. 420) üblich gewordenen Ausdruck zu gebrauchen, an die Isothermobathen. In jenen Meeren, welche normal anotherm sind, wird die Anordnung dieser Kurven stets dieselbe gestaltlichen Züge wahrnehmen lassen, welche man auch an den Isobathen erkennt; für das Adriatische Meer haben J. Wolf und Luksch dies ausdrücklich festgestellt [44]. Auch Wärmeprofile gewähren ein gutes Bild. Man trägt auf der X-Achse eines Orthogonalsystemes die Tiefen, auf der Y-Achse die zugehörigen Temperaturstände nach einem an sich willkürlichen Masstabe ab und erhält so Kurven, deren Verlauf die Wärmeschichtung vor Augen stellt. Das Temperaturprofil des Golfstromgebietes, wie es Fig. 88 nach J. J. Wild [45] darbietet, gibt sofort die richtige Vorstellung von dem Einflusse einer warmen Meeresströmung. — Endlich sind auch die von Supan [46] ausgiebig verwerteten Vertikalschnitte sehr geeignet, die Temperaturschichtung zu illustrieren. Fig. 89 wird deutlicher als dies eine ausführliche Beschreibung vermöchte, das Wesen dieser Art von Profilzeichnung anschaulich machen.

Fig. 88.



Dass das Meer in grösserer Tiefe kälter als weiter oben sei, wusste bereits Aristoteles, und im XVIII. Jahrhundert wurde durch den Grafen Marsigli

Fig. 89.



und durch Buffon diese Thatsache etwas besser bekannt [47]. Die Verbesserung der submarinen Thermometrie, deren §. 3 gedachte, hätte, sollte man denken, einen raschen Fortschritt der Erkenntnis zur Folge haben müssen, allein die Wirkung des naturphilosophischen Zeitalters, welches es liebte, die Natur nicht langsam zu erforschen, sondern aus theoretischen Voraussetzungen heraus zu konstruieren, äusserte sich auch bei diesem Probleme. Ohne Rücksicht auf die schon von Einzelnen geahnte Thatsache, dass das Dichtemaximum des Salzwassers von dem des Süsswassers grundverschieden ist (s. o. in §. 2), ohne Rücksicht auf die damit ganz und gar nicht zu vereinbarenden Beobachtungen von John Ross dekretierte man: Unter 4° kann die Wassertemperatur auch in kalten Erdräumen nicht herabsinken; eine mächtige Tiefenschicht aller Meere ist mithin homotherm. Zwischen Aequator und — ungefähr — ± 56° sollte die Temperatur langsam mit der Tiefe bis 4° abnehmen; in der Gegend jenes Parallelkreises sollte das Meer überhaupt homotherm sein; polwärts von ± 56° nahm man sogar eine katotherme Wärmefolge an. Lange Zeit hat sich jener Irrtum, dem vorzugsweise John Herschels Autorität [48] zur Stütze dienen musste, herrschend erhalten, und erst die richtigere Einsicht in die physikalischen Verhältnisse, verbunden mit den Ergebnissen der grossen wissenschaftlichen Seereisen, von denen

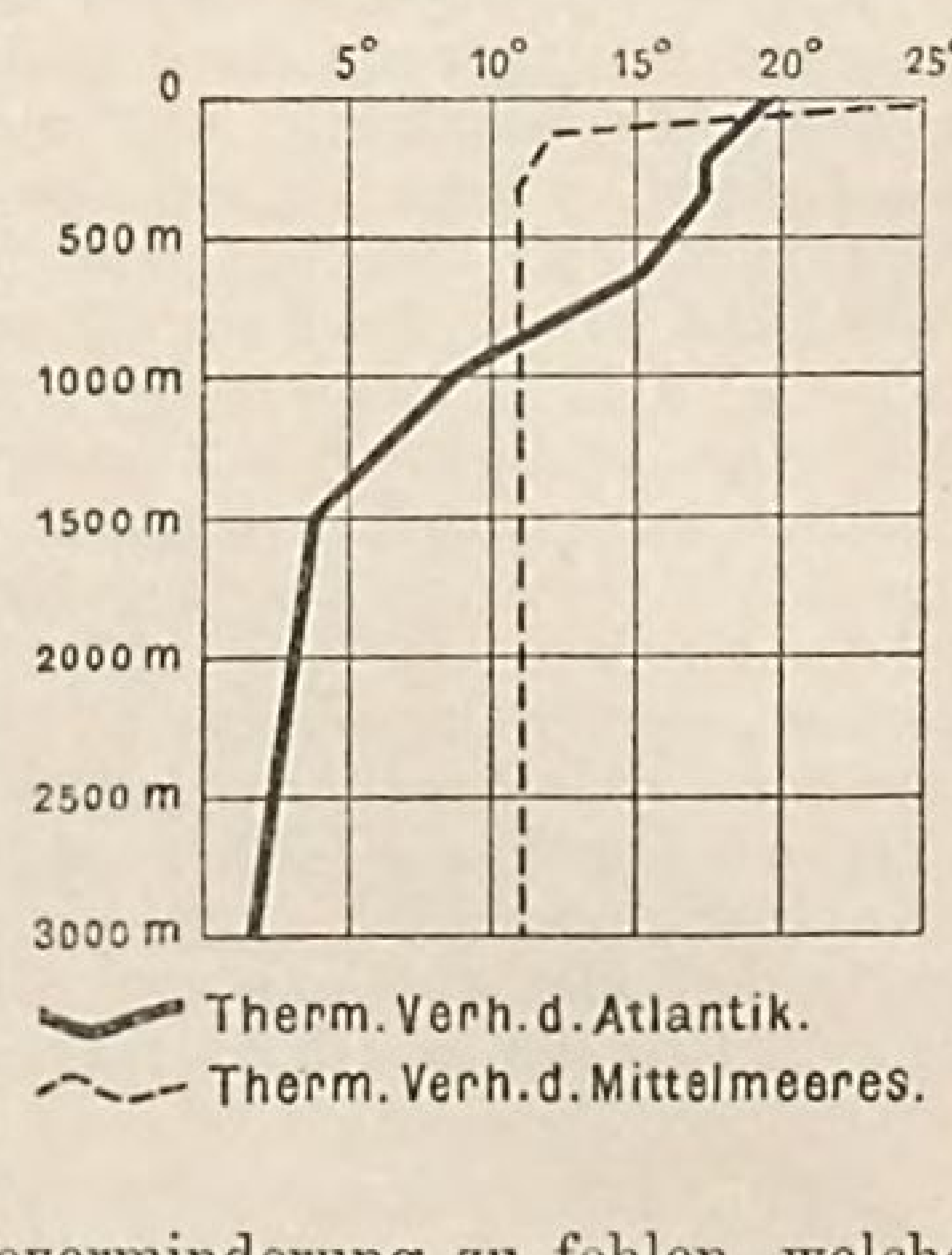
„Lightning“ und „Porcupine“ den Anfang machten (S. 402), breitete der schablonenhaften Auffassung ein Ende [49]. Nunmehr konnte man mit grösserem Rechte die Gesetze der Wärmeschichtung aufstellen, wie wir sie nachstehend hauptsächlich nach der Darstellung mitteilen, welche sie in dem Werke v. Boguslawskis [50] gefunden haben.

I. Die Temperatur des Meerwassers im freien Meere nimmt gewöhnlich vom Meeresspiegel gegen den Boden stetig, jedoch nicht gleichmässig, ab, und zwar wird die Temperaturabnahme mit wachsender Tiefe eine immer langsamere, der vertikale Temperaturgradient (S. 190) ein immer kleinerer; am kleinsten erweist sich derselbe im allgemeinen in der Schicht zwischen 700 und 1100 m, in welcher das Thermometer sich ziemlich konstant auf 4° hält. Die Bodentemperaturen pflegen sich innerhalb der Grenzen + 2° (tropische Meere) und — 3° (polare Gewässer) zu bewegen. Auffallen kann, wie Krümmel [51] betont, die niedrige Temperatur des Grundes selbst in der Nähe des Aequators, und wirklich ist sie nur durch die Annahme erklärbar, dass das Tiefenwasser der heissen Zone mit den kühlen Gewässern hoher Breiten durch Strömungen kommuniziert. Wir werden später sehen, dass diese Annahme einen an Gewissheit grenzenden Grad von Wahrscheinlichkeit besitzt, und dass auch das Oberflächenwasser von dieser Zirkulation keineswegs unberührt bleibt.

II. Unter sonst gleichen Verhältnissen werden Indischer und Stiller Ozean in der Tiefe kälter als der Atlantische Ozean sein, weil die Zugangsbreite (S. 414) der resp. aus dem Antarktischen Meere zuströmenden kühlen Bodengewässer in den beiden letzteren Fällen eine besonders grosse ist.

III. Abgeschlossene Meeresbecken, zumal die Mittelmeere, bekunden eine von derjenigen der Ozeane verschiedene Temperaturschichtung. Dadurch nämlich, dass die Zugangspforten aus der Hochsee in jenen abgetrennten Meeresteil zumeist seicht sind, erscheinen die tieferen Partien des letzteren, abwärts von der tiefsten der Niveauflächen, welche man tangierend an jene Trennungsschwellen gelegt denken kann, der Strömungsverbindung mit den Ozeanen entzogen. Abwärts von jener Fläche sind die Mittelmeere so gut wie homotherm; das Romanische Mittelmeer ist anotherm bis hinab zu 500 m Tiefe, und von da ab herrscht eine fast ganz gleichmässige Temperatur von 13°, weil eben die Bodenerhebung der Strasse von Gibraltar bis auf 500 m an die Meeresfläche heranreicht [52]. Für das Aegäische Meer im besonderen hat G. Schott den analogen Sachverhalt präzisiert [53]. Auch im Winter trägt die Tiefentemperatur der Mittelmeere den Stempel der Einförmigkeit, wie dies Zöppritz — in dem von ihm dem Handbuche v. Boguslawskis und Krümmels einverleibten Fragmente — folgendermassen ausspricht [54]. „Die Bodentemperatur eines durch unterseeische Schwellen abgegrenzten Meeresbeckens hängt von der Satteltiefe der Schwelle oder, was dasselbe ist, von der Maximaltiefe der Verbindungsstrasse mit dem offenen Ozean ab und wird nach folgender Regel gefunden. Ist die mittlere Wintertemperatur über dem abgeschlossenen Meeresbecken tiefer als die Temperatur des benachbarten Ozeans im Horizonte des Verbindungssattels, so ist das ganze Becken unterhalb dieses Horizontes mit Wasser von jener Wintertemperatur gefüllt; ist aber die Wintertemperatur höher als die des Nachbarmeeres im Horizonte der Schwelle, so ist dieses mit Wasser von der Temperatur dieses Horizontes im offenen Meere gefüllt. Beispiele der ersten Art bieten das Ochotskische und das Mittelländische Meer, Beispiele der zweiten die südostasiatischen Randmeere.“

Fig. 90.



Ueberhaupt ist, wie Forel [55] an dem charakteristischen Beispiele unseres Mittelmeeres der Alten Welt dargethan hat, die vertikale Wärmeverteilung in einem solchen Nebenmeere derjenigen in einem Binnensee ähnlich. Nur pflegt jene Schicht rapider Wärmeverminderung zu fehlen, welche bei so vielen Binnenseen (vgl. u. in Abt. VIII, Kap. IV) als typisch uns entgegen-

treten wird; immerhin haben die russischen Lotungen in der Propontis (S. 405) ergeben, dass in diesem Meeresbecken zwischen 11 und 25 m eine rasche Temperaturverminderung, zugleich mit starker Zunahme des Salzgehaltes, stattfindet, worauf dann Temperatur und Salzgehalt nach unten zu langsam abnahmen, um in der Bodenschicht beide konstant zu werden. In Fig. 90 ist, nach Forel, die vertikale Wärmeabnahme des Mittelländischen Meeres im gleichen Diagramme derjenigen des Atlantik gegenübergestellt.

§. 6. Spezielle Temperaturcharakteristik der Ozeane. Nachdem wir die Gesetze, welche die marine Temperaturschichtung regeln, in ihren Grundzügen kennen gelernt haben, liegt uns die weitere Pflicht ob, die Geltung dieser Normen in den freien Weltmeeren etwas näher zu betrachten. Neben den schon genannten Schriften von Wild, Krümmel und Supan, sowie neben den verdienstlichen Zusammenstellungen des deutschen und des österreichischen Handbuches [56] kommt besonders eine Abhandlung des erwähnten Kieler Ozeanographen [57] in Betracht. Eine Anzahl erst in neuester Zeit ermittelter Thatsachen enthält der mehrfach citierte Bericht von G. Schott [58].

a) Atlantischer Ozean. Die ausgezeichnete Monographie [59] Wyville Thomsons ist erschöpfend für den zur Zeit ihres Erscheinens erreichten Standpunkt. Allenthalben zeigt es sich, dass die solare Wärme noch bis zu einer Tiefe von rund 100 m eindringt. Der Nordatlantik ist, wenigstens bis zu einer Tiefe von gegen 3000 m, dem Südatlantik an Wärme überlegen, was wohl damit in Verbindung steht, dass den antarktischen Gewässern der Zustrom mehr als den arktischen erleichtert ist. Die Oberflächentemperatur ist konstanter auf hoher See, als in der Nähe der Küste, weil dort, wie dies Petterson [60] für die unter Skandinaviens Witterungsregime stehenden Meerespartien nachgewiesen hat, die jahreszeitlichen Gegensätze des Festlandes unerwartet entschieden einwirken. Die Jahresamplitude ist in den flachen dänischen Küstengewässern so erheblich, dass sie bis zu 20^{0} ansteigt [61]. In jener Region, welche gleichzeitig von äquatorialen und polaren Strömungen durchkreuzt wird, zeigt sich, wie G. Schotts ausführliche Arbeit [62] über die Hydrographie der Bank von Neu-Fundland klarlegt, eine für Sommer und Winter gleichbleibende Abnahme der Wasserwärme gegen N und W, sowie ein überaus rascher und heftiger Temperaturwechsel für solche Meeresräume, innerhalb deren bald die warme, bald die kalte Meeresströmung prädominiert. Was die polaren Bodenströmungen anlangt, so haben die antarktischen (s. o.) vor den arktischen insofern einen Vorsprung, als sie, den Feststellungen der „Gazelle" und ihres Führers v. Schleinitz zufolge, bis gegen den 36.^{0} n. Br. hinaufreichen können. Die Westseite des nördlichen Atlantischen Ozeans ist im allgemeinen die wärmere, wenigstens im Bereiche der oberen 1000 m, während in der Tiefe das Verhältnis sich umgekehrt hat. Das kalorische Uebergewicht der Westhälfte wird nur an einer Stelle namhaft gestört, nämlich da, wo das Polarwasser (?), von den Amerikanern als kalter Wall („Cold Wall") bezeichnet, sich zwischen den Golfstrom und den Ostrand der Vereinigten Staaten einschiebt. Diese Erscheinung wird von uns in Kap. V eingehender zu besprechen sein. — Völlig unabhängig von den oberflächlichen Strömungen erscheint das Auftreten kühlen Küstenwassers an der Nordwestküste Afrikas, d. h. vornämlich zwischen Kap Bojador und Kap Verde, und ebenso in Nieder-Guinea, an der Küste von Angola. Der Grund für diese früher unerklärbare Thatsache ist in der durch Puff [63] studierten Aufpressung des bis dahin in grösserer Tiefe verbliebenen Polarwassers zu suchen (s. u. in Kap. V). Die an jenen Küstenstreifen durch das kalte Auftriebwasser erzeugten Nebel haben von je viel von sich reden gemacht [64]. — Anhangsweise mag auch erwähnt werden, dass die Karaibische See [65], durch eine im Mittel nur um 1300 m vom Meeresspiegel abstehende Bodenerhebung vom Atlantik abgetrennt, unterhalb dieser Schwelle (s. o.) mit 4,2^{0} so gut wie homotherm temperiert ist.

b) Stiller Ozean. Die Wassertemperaturen in der Tiefe von 400 m sind in dem Atlas des Ozeans, welchen die Deutsche Seewarte im Jahre 1896 herausgab, auf Grund des zuverlässigsten Materiales eingezeichnet. Die Messungen von

„Challenger“, „Gazelle“ und „Tuscarora“ belehren uns, dass Westen und Osten des Pazifik sich thermisch ganz ähnlich zu einander verhalten, wie wir dies beim Atlantik (s. o.) erfuhren [66]. Die Meeresströmungen sind auch hier für weite ozeanische Räume das die Wärmeverteilung regelnde Element; in der grossen japanischen Strömung wechseln kalte und warme Streifen ganz ebenso nach v. Reibnitz ab [67], wie es auch für den Golfstrom festgestellt wurde. Auch in diesem Weltmeere ist eine gewisse thermische Präponderanz des Westens vor dem Osten unverkennbar. Die Berührung des kalten nördlichen und südlichen Polarwassers ist diesmal ziemlich weit nach Süden verlegt [68]. Die zwischen die Südsee und den Indischen Ozean eingelagerten Mittel- und Randmeere unterliegen, wie zum teil schon bemerkt ward, dem Gesetze der relativ homothermen Tiefenerfüllung.

c) Indischer Ozean. Die Ermittelungen der „Gazelle“ und des „Challenger“ geben noch immer die Grundlage für unser thermometrisches Wissen vom Indischen Ozean ab. Die Oberflächentemperaturen sind im tropischen und teilweise auch noch im subtropischen Teile sehr hohe, wie denn im Agulhas-Strome, unter 34° s. Br., noch 23° gemessen wurden, während allerdings bei den südöstlich von dieser Stelle gelegenen Macdonald-Inseln (52° s. Br.) nur noch 3° gefunden wurden [69]. Der gewaltige Zugangsquerschnitt gegen das Antarktische Meer leistet dem Eindringen kalten Tiefenwassers starken Vorschub, so dass allenthalben zwischen Mauritius und Nordwestaustralien sehr niedrige Bodentemperaturen angetroffen werden [70]. — Sehr gut sind wir gegenwärtig orientiert über die Zustände im Roten Meere, dem heissesten Meeresraume, den es auf der Erde gibt. Es hat nämlich einerseits die Meteorologische Zentralstelle in London einen Atlas [71] dieses grossen Golfes herausgegeben, der auch Karten der Wassertemperaturen enthält und durch die Referate von Supan und Schott auch in Deutschland eingeführt worden ist [72]; andererseits aber sind uns auch schon viele Früchte der Arbeiten der „Pola“-Expedition zugänglich geworden. Die ausführlichen Mitteilungen von Luksch hat H. J. Klein [73] in bequemem Auszuge wiedergegeben. In der Breite von Dschidda war das Meer für eine Schicht von rund 700 m anotherm, um sodann bis zum Grunde die ungemein hohe Temperatur von 21,5° beizubehalten. Im nördlichen Teile des Untersuchungsgebietes war die höchste Oberflächenwärme mit 25,9° und im südlichen Teile mit 29,5° erhalten worden. Weit kühler im Verhältnis ist der Golf von Suez, wogegen der andere Ausläufer, der Meerbusen von Akabah, sehr stark durchwärmt ist und nahezu homotherm genannt werden muss. Nirgendwo sonst auf der Erde wird man eine so geringe Wärmeabnahme mit der Tiefe, wie hier, konstatieren können.

d) Nördliches Eismeer. Die Oberflächentemperatur in der kalten Zone des Nordens kennzeichnet sich wesentlich durch den Umstand, das keilförmig wärmere zwischen kältere Areale sich einschieben. In den grösseren Tiefen schwankt die — vom Bodenrelief erheblich abhängige — Temperatur zwischen 0° und —1,7°, während gegen die Küsten hin das Wasser wärmer zu werden pflegt [74]. Im Sommer ist das Arktische Meer durchweg anotherm, im Winter grossenteils eher katotherm (S. 423), wenn auch das Temperaturwachstum nach unten nur ein ganz langsames ist. Nur die Umgebung einer Linie, welche, als Mohnsche Wärmeachse bekannt, durch die Umbiegungsstellen der Oberflächenisothermen hindurchgelegt ist, zeichnet sich durch homothermen Charakter auch tiefer gelegener Schichten aus [75]. — Für die Meere zwischen Nowaja Semlja und Franz-Josephs-Land gilt, was Weyprecht [76] angibt: „Aus der Vergleichung der Monate geht hervor, dass im Juni die Zufuhr von wärmerem Wasser aufhört; die letzten Reste desselben liegen als unterste Schicht am Grunde und werden im Laufe des Sommers durch kaltes Wasser ganz verdrängt, das sich bis Ende September von der Oberfläche bis zum Boden sehr konstant nahezu auf der gleichen Temperatur erhält, während um diese Zeit wieder die Zufuhr von wärmerem Wasser beginnt.“ Diese homotherme Durchtränkung der abyssischen Eismeerregion mit Wasser, welches aus dem Atlantik stammt, scheint sich durch Nansens Beobachtungen auf der „Fram“ vollkommen bestätigt zu haben [77]. Die ostgrönländische Expedition von Ryder [78] ergab das Vorhandensein mesothermer Temperaturverteilung, indem nämlich eine auffallend salzige, über 0° temperierte Schicht oben und unten von kälteren und salzärmeren Lagen eingeschlossen ist. — Die Verhältnisse im Norden Sibiriens sind durch A. E. v. Nordenskiölds Fahrt

mit der „Vega“ bekannter geworden; das eiskalte Wasser zeigt sich dort schon in recht geringen Tiefen, so dass zwischen 30 und 40 m die Temperatur meist zwischen — 1° und — 2,4° schwankt [79]. — Die Frage, inwieweit Ausläufer des Golfstromes zur Erwärmung von Partien des Nördlichen Eismeeres beitragen, soll in Kap. V und in Kap. VI — soweit möglich — ihre Erledigung finden.

e) Südliches Eismeer. Was aus älterer Zeit, von James Ross, Wilkes u. a. an vertrauenswerten Temperaturbeobachtungen vorliegt, reicht nicht aus zur Ziehung bestimmter Schlüsse, und die Explorationsschiffe der neuen ozeanographischen Aera haben nur den Rand der südlichen Polarzone gestreift. Doch scheint wenigstens für einzelne Teile des Antarktischen Meeres die für die Arktis (s. o.) ermittelte Erscheinung sich zu wiederholen [80], dass mesotherme Schichtung die Regel bildet.

So grosse örtliche und regionale Verschiedenheiten sich auch hinsichtlich der Wärmeverteilung in den irdischen Meeren ergeben, so liegt doch auch manche Gesetzmässigkeit offen am Tage. Vergleichendes Studium der Temperaturkarten [81] der englischen Meteorologen gewährt nach dieser Seite hin manchen Aufschluss. So spiegelt sich die morphologische Aehnlichkeit der beiderseitigen Küstenkonfiguration von Atlantik und Pazifik auch in deren thermischer Oekonomie wieder, wogegen beim Indischen, nur nach Süden offenen Ozean die Dinge ganz anders gelagert sind. „Die grossen thermischen Gegensätze an den Südküsten Japans erinnern sofort an die Verhältnisse bei den Neu-Fundlandsbänken, das kühle Wasser im östlichen Teile des Südäquatorialstromes (Galápagos-Inseln bei Peru) erinnert an das gleiche Phänomen im Benguelastrome“ [82] (vgl. u. Kap. V, §. 2). Auch der Umstand, dass sich die tropisch warmen Gewässer mehr im Westen als im Osten zusammendrängen, ist als ein beiden Ozeanen gemeinsames Merkmal zu betrachten.

§. 7. **Das spezifische Gewicht des Meerwassers.** Teils durch die Temperatur, teils durch den Gehalt an Fremdstoffen, welchen wir in den folgenden Paragraphen erforschen wollen, ist das spezifische Gewicht des Meerwassers bedingt; wir identifizieren diesen Begriff mit dem der Dichte (I, S. 196) und verstehen darunter die Zahl, wie viel mal die Kubikeinheit Meerwasser schwerer ist, als die Kubikeinheit Süsswasser im Zustande vollster Reinheit und stärkster Konzentration (§. 2). Nur Versuche können den Wert dieser unbenannten Zahl feststellen; es ist also zunächst erforderlich, das Seewasser aus gegebener Tiefe an die Oberfläche zu bringen, um es hier der Untersuchung unterwerfen zu können. So bedarf es denn auch zweier verschiedener Gattungen von Apparaten, der Wasserschöpfer und der Dichtemesser oder Aräometer (ἀραιός, dünn; μετρεῖν, messen).

Von den Apparaten erster Art handelt E. Meyer in mustergültiger Vollständigkeit [83]. Der historisch älteste ist Hales' „Bucket Sea-Gage“ [84], ein Eimer mit doppeltem Boden, so eingerichtet, dass das ins Innere eingedrungene Wasser durch Vorfall von Klappen an diesem Orte festgehalten werden konnte. Im wesentlichen blieb diese Einrichtung unverändert, bis Marcet [85] einen Fortschritt inaugurierte, der sich allerdings wesentlich nur auf besseren Schluss der Ventile bezog. Scoresbys, von Carey verbesserter „Marine-Diver“ beruhte auf keinem anderen Prinzipe [86], und dieses war auch noch für die Forschungen der „Porcupine“ das massgebende (S. 402). Die mancherlei Detailverbesserungen von Buchanan, Sigsbee und Jacobsen-Behrens wurden überholt durch den handlichen Wasserschöpfer H. A. Meyers [87] (S. 403). Der Hohlraum eines starken Messingzylinders ist am oberen Ende konisch verengt, am unteren ebenso

erweitert, und sowie sich dieser Raum mit der gewünschten Wasserprobe gefüllt hat, besorgen Kegelventile den hermetischen Verschluss. Solange dagegen der mit der Senkleine verbundene Zylinder das Wasser durchstreicht, bleiben die Ventile offen, und erst durch einen Zug, den der Beobachter ausübt, fallen dieselben zu. Handelt es sich um Aufholung von eigentlichem Bodenwasser, so erfolgt der schliessende Ruck automatisch. Dieses Instrument hat sich bei den Untersuchungen der Deutschen Meereskommission glänzend bewährt. Ob ein von Krümmel [88] erwähnter Apparat Dicksons, dessen Eigentümlichkeit darin besteht, dass in der Tiefe die bis dahin geschlossenen Ventile durch ein Abfallgewicht geöffnet werden, dem vorgenannten den Rang ablaufen wird, steht einstweilen dahin. Die ungleiche Temperierung der beim Aufholen zu durchmessenden Schichten bildet allerdings eine gewisse Fehlerquelle, der man, freilich aber nur bei nicht zu grossen Tiefen — entgehen kann [89], wenn man sich des gegen Wärmeeinwirkungen bereits korrigierten Schöpfapparates von Ekman bedient.

Ueber die Erfindungsgeschichte des Aräometers verbreitet ein Aufsatz E. Gerlands, zu dem M. Schmidt Zusätze lieferte [90], vieles Licht. Die erste Bemerkung darüber ist in einem Briefe des Synesius an die gelehrte Hypatia (VI. Jahrhundert n. Chr.) enthalten, ohne dass doch ersterer deshalb mit Bestimmtheit als Erfinder anzusprechen wäre. Das Lehrgedicht „De ponderibus et mensuris", worin die Beschreibung einer Senkwage sich findet, wird bald dem Rhemnius Fannius Palaemon (um 30 n. Chr.), bald dem Grammatiker Priscianus (um 500 n. Chr.) zugeschrieben; die Behauptung des unbekannten Autors, schon Archimedes habe einen Apparat zur Bestimmung des spezifischen Gewichtes angegeben, ist nur insofern zutreffend, als allerdings das archimedische Prinzip die Grundlage einer jeden derartigen Bestimmung bildet. Schmidt versetzt den Erfinder in die Zeit zwischen 200 und 400 n. Chr., Gerland in eine etwas spätere Zeit; höchst wahrscheinlich waren medizinische Beweggründe für diese Neuerung massgebend. Dem Mittelalter war dieselbe wieder entfallen, aber Thöldens „Salzwerkkunde", welche im Jahre 1603 herauskam, spricht von einem primitiven Aräometer zur Ermittelung des Konzentrationsgrades der Salzsole wie von einer bekannten Sache [91], und Schwenter gibt gleichfalls [92] eine graduierte Holzspindel an („ein Instrument zu machen, damit zu erfahren, wieviel jedes gesaltzenes Wasser Saltz halte"). Dann ist durch Deschales und Boyle, welch letzterer unechte von echten Münzen auf aräometrischem Wege zu unterscheiden gedachte, der Aräometrie in der Hauptsache jene Form gegeben worden [93], in welcher wir sie in allen physikalischen Lehrbüchern vorfinden. Speziell auf Meerwasser dürfte (vgl. I, S. 18) unser Instrument zuerst durch den Kieler Physiker Reyher (Ende des XVII. Jahrhunderts) angewandt worden sein. Ein zylindrischer oder prismatischer Körper, der mit Gewichten beschwert werden kann, taucht in die auf ihre Dichte zu prüfende Flüssigkeit ein, und je grösser seine Raumverdrängung ist, desto geringer muss das spezifische Gewicht ersterer sein. Die besondere Einrichtung dieser (Glas-)Aräometer, welche wohl auch Hydrometer, Volumeter, Pyknometer (vgl. I, S. 356) genannt werden, wird in nautischen Werken [94] näher charakterisiert und braucht uns nicht eigens zu beschäftigen. Ein sehr kleines und doch exakt arbeitendes Aräometer ist dasjenige von Thoulet [95], welches auch für Aufnahme eines feinen Thermometers aptiert werden kann und von Krümmel als sehr brauchbar erprobt wurde. — Eine hievon völlig verschiedene, indirekte Methode der Dichtebestimmung kann erst in §. 8 betrachtet werden, weil sie Kenntnis der Beschaffenheit des Meerwassers voraussetzt. Auch ein optisches Verfahren hat sich neuerdings bewährt. Die Meinung Keplers, dass das Brechungsvermögen eines durchsichtigen Stoffes zu dessen Dichte in einem ganz einfachen Verhältnis stehe, musste auf Harriots Einsprache hin [96] allerdings aufgegeben werden, aber in Konsequenz des an sich richtigen Gedankenganges ist das Abbe-Krümmelsche Doppelbild-Refraktometer entstanden [97], welches namentlich für Arbeiten an Bord sich empfiehlt, welche sonst leicht durch den Seegang beeinträchtigt werden können. Das Instrument beruht auf der Erscheinung der sogenannten totalen Reflexion. Wenn ein Strahl aus einem dichteren Medium in ein minder dichtes fällt, so wird er vom Einfallslote weg gebrochen, und zwar hat man, wenn n den sogenannten Brechungsindex, α_1 den ursprünglichen und α_2 den späteren Winkel des gebrochenen Strahles mit dem Lote bezeichnet, die bekannte Relation: $\sin \alpha_1 : \sin \alpha_2 = n$; $\sin \alpha_2 = \sin \alpha_1 : n$. Ein Sinus muss $\overline{\gtrless} 1$ sein; für den Grenzwert $\sin \alpha_1 = n$ kann also keine Brechung mehr, sondern lediglich eine Zurückwerfung an der Grenzfläche eintreten. Sind n und ν

die Brechungsindizes zweier Medien, während α den Winkel der totalen Reflexion bezeichnet, so beweist die Optik, es sei $\sin \alpha = n : \nu$. In unserem Falle soll n sich auf destilliertes Süsswasser beziehen, somit bekannt sein; $\sphericalangle \alpha$ wird mit dem Refraktometer gemessen; dann berechnet sich sofort ν, der Brechungsindex des Meerwassers, der durch eine einfache Formel mit dem spezifischen Gewichte dieses Stoffes in Beziehung steht.

Gesetzt, man kennte den in Prozenten ausgedrückten Salzgehalt p, so kann man das spezifische Gewicht s als Funktion von p und von der Temperatur t darstellen. Gewöhnlich wird nach einer Formel von Hann [98] gerechnet, welcher gemäss

$$s = 1{,}02946 - 0{,}000006\,(6{,}7 + t)\,t + 0{,}0077\,(p - 3{,}5)$$

zu setzen ist. Die Konstante rechts bedeutet die Normaldichte, wie sie bei einer Temperatur von 0° und bei einem mittleren Salzgehalte von $3\frac{1}{2}$ % sich ergibt. Auch von Thorpe und Rücker besitzen wir ausgedehnte Untersuchungen [99] über diese Zusammenhänge.

Die Aräometer unserer Marine sind so eingerichtet, dass sie direkt die Zahl liefern, wie vielmal die Volumeinheit des untersuchten Meerwassers schwerer ist, als reines Süsswasser bei einer Temperatur von 17,5°, welche als Normaltemperatur angesehen wird. Wenn t die Temperatur ist, bei welcher die Bestimmung vorgenommen ward, so ist das spezifische Gewicht, um die zweckdienliche Ekman-Krümmelsche Bezeichnung [100] anzuwenden, gleich S (t° : 17,5). Anderwärts ist die Zurückführung auf die Normalform eine abweichende, wie Supan [101] angibt. „Die Engländer berechnen, wie vielmal Seewasser von der Temperatur 15,56° C. (60° F.) schwerer ist, als ein gleich grosses Volumen destilliertes Wasser von 4°, also S (15,6° : 4). Andere Reduktionen sind S (0° : 4°) und S (20° : 4°). Eine internationale Regelung ist dringend erwünscht.“ Versteht man unter V_t das Volumen des Seewassers bei der Temperatur t, so kann man, um sofort die Dichte für die Normaltemperatur zu erhalten,

$$S\,(17{,}5^{\circ} : 17{,}5^{\circ}) = S\,(t^{\circ} : 17{,}5^{\circ}) \,.\, (V^{\circ}_t : V_{17,5})$$

setzen, wobei $V_{17,5} = 1125 + 47{,}146\,p - 0{,}1495\,p^2$ gesetzt werden darf. Die linksstehende Grösse hängt mit p zusammen durch diese Gleichung:

$$p = \delta\,[S\,(17{,}5 : 17{,}5) - 1].$$

Bei den deutschen Geographen und Nautikern, die sich wesentlich an G. Karstens Reduktionstafeln [102] zu halten pflegen, ist $\delta = 1310$, während der Norweger Tornöe [103] für δ den Wert 1319 in Rechnung bringt. Die Engländer setzen

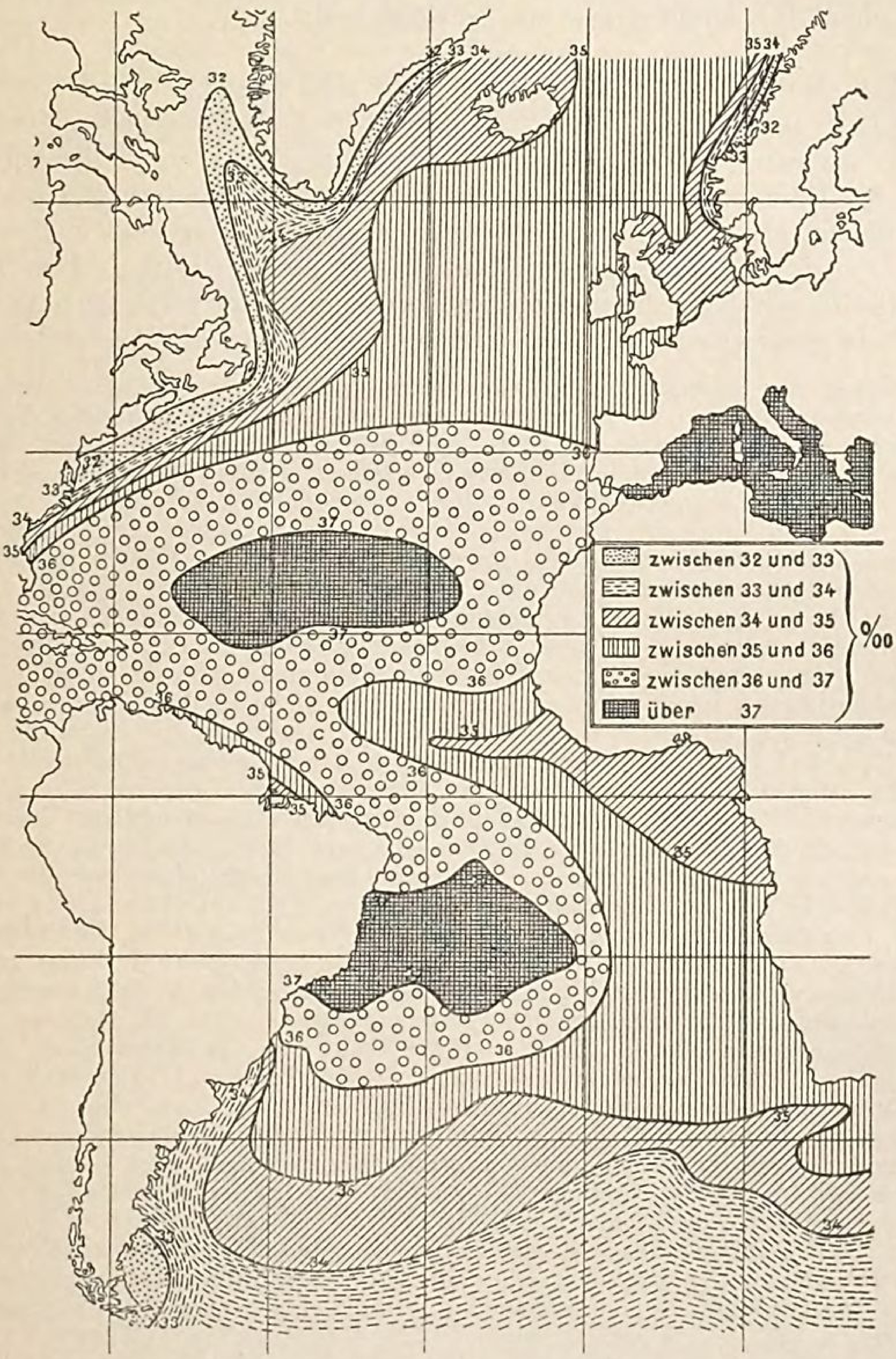
$$p = 1353\,[S\,(15{,}56^{\circ} : 4^{\circ}) - 1].$$

Die Handhabung des Aräometers zu erlernen, eignet sich am besten die vorgenannte Abhandlung von Krümmel, der bald darauf eine Ergänzung folgen liess [104], worin jener auch auf die einschlägigen Erfahrungen von Thoulet [105] und Makarow [106] Rücksicht nimmt. Es kommt viel darauf an, dass die verwendete Glasspindel aus gutem, widerstandsfähigem Glase gefertigt sei, wie etwa das bekannte Jenaer Normalglas der Abbe-Zeissschen Werkstätte (vgl. S. 50) ein solches ist. Auch im übrigen macht Krümmel hier auf alle die zahlreichen Kautelen aufmerksam, welche bei aräometrischen Messungen berücksichtigt sein wollen.

Eine erste zusammenfassende Uebersicht über die geographische Verteilung der Dichte des Meerwassers wurde von Buchanan [107] geliefert, und in der Hauptsache müssen wir noch jetzt bei ihr verbleiben. Danach stellen sich die Verhältnisse im wesentlichen wie folgt. Der Atlantische Ozean besitzt zwei Gebiete von der (relativen) Maximaldichte 1,0275, und zwar bildet das nördliche Gebiet, östlich von den Antillen, ein geschlossenes Oval, während das südliche von der brasilianischen Küste

begrenzt wird. Im Pazifischen Ozean breitet sich ein geschlossenes Areal von der Dichte 1,0270 zwischen dem 100. und 150. Meridian, sowie zwischen dem 10. und 25. Parallel südlicher Breite aus. Die Maximaldichte im Indischen Ozean beträgt nach Liebscher [108] 1,0275, gerade wie im Atlantik,

Fig. 91.



und zwar sind auch hier zwei Maximalbezirke vorhanden, deren östlicher zwischen Madagaskar und der australischen Küste liegt, deren westlicher dagegen sich als schmale Zone südlich vom Vorgebirge der guten Hoffnung hinzieht, teilweise noch ins Atlantische Meer hineinreichend.

Es ist gleichgültig, ob man die Dichte selbst oder, als Vertreter derselben, den Salzgehalt angibt. Eine die Verbreitung des letzteren anzeigende Karte ist mit einer Dichtekarte gleichwertig. So gibt das Kärtchen des Atlantik (Fig. 91), welches auf den Studien von Krümmel [109] und Schott [110] basiert, auch Aufschluss über das spezifische Gewicht, wiewohl die Salinität in erster Linie dargestellt werden soll. Die beiden salzreichsten Flächenräume sind an der Stelle zu finden, wohin eben das Dichtemaximum verlegt ward.

§. 8. **Der Salzgehalt der Meere.** Wir sind damit zu der Betrachtung des Salzgehaltes oder der Salinität des Meerwassers selbst hingeleitet worden. Ohne zuvörderst den quantitativen Aufgaben, vor welche die Beimengung einzelner Stoffe uns stellt, näherzutreten, wollen wir zunächst einige allgemeine Fragen besprechen, welche sich auf die Entstehung der Salzigkeit, auf die Wegschaffung des Salzes und auf die physisch-geographischen Vorbedingungen ungleicher Ansäuerung der einzelnen Meeresteile beziehen.

Woher der Salzgehalt des Meerwassers stammt, vermag die Wissenschaft nicht zu sagen. Aristoteles, der nur die der Oberfläche benachbarten Schichten für salzig hielt, wusste, dass die vom Meere aufsteigenden Dünste, wenn man sie kondensiert, nicht Salz-, sondern Süsswasser ergeben, glaubte aber, dass eben diese Dünste durch die Sonnenstrahlen in ihrer natürlichen Beschaffenheit verändert würden und, zum Meere zurückkehrend, diesem einen unangenehmen Beigeschmack verliehen [111]. Halley wies [112] sowohl auf die von den Flüssen ins Meer geschwemmten Festkörper, wie auch auf die Möglichkeit hin, dass unterseeische Steinsalzlager vom Wasser ausgelaugt worden seien. Wenn v. Boguslawski dieser letzteren Annahme bedingte Berechtigung beimisst [113], so möchten wir einwenden, dass eher die umgekehrte Schlussfolgerung zulässig erscheint: Die Salzvorkommen unserer Gebirge sind Residuen der Meere, welche hier in geologischer Vorzeit das Land bedeckten. Auch bemerkte bereits Fichtel [114], die Grundproben (S. 409) enthielten niemals salzige Bestandteile. Gegen die Urheberschaft der binnenländischen Ströme aber sprechen die Analysen J. Roths [115]; es finden sich in den Flüssen und im Meere resp. an Karbonaten 60,1 und 0,2 %, an Sulfaten 9,9 und 10,3 %, an Chloriden 5,2 und 89,5 %, wozu dann im Flusswasser noch andere dem Meere fehlende Stoffe (Kieselsäure, Thonerde u. s. w.) hinzukommen. Gerade die im Meerwasser (s. u. in §. 9) tonangebenden Chlorverbindungen sind im Wasser der Flüsse schwach vertreten, wogegen wieder der kohlensaure Kalk des letzteren in den Ozeanen ganz zurücktritt, man müsste sich denn der Ansicht anbequemen, dass Korallenbauten, Muschelschalen, Protistenpanzer u. s. w. (S. 412) den Ueberschuss weggenommen hätten. Kuntze [116] denkt sich das Meersalz als einfache Konsequenz der Gesteinszersetzung; Schleiden [117] erblickt in der zu erklärenden Thatsache die naturnotwendige Folge der Kant-Laplaceschen Kosmogonie (Abteil. I, Kap. I). Ohne uns mit seiner Schlussweise ganz einverstanden erklären zu wollen, müssen wir doch zugestehen, dass — und dies ist jetzt eine weit verbreitete Meinung — vielleicht die inverse Fragestellung die berechtigtere wäre: Wie kommt es, dass das Wasser, von Hause aus salzig, in den Binnenlandgewässern der Salzbestandteile meistenteils entbehrt? So hat man schon in früheren Jahrhunderten gedacht; Wisotzki [118] sammelte die dahin zielenden Zeugnisse, wie man sich die Entsalzung des — vgl. S. 375 — aus den Ozeanen in die Quellenstränge gelangten Wassers zurechtlegte, worauf bei der Lehre von den Quellen zurückzukommen sein wird.

Aus dem, was über die Anschauungen des Aristoteles gesagt wurde, geht hervor, dass er sich der Möglichkeit einer Trennung des Wassers von seinen salzigen Beimengungen bewusst war, und ein gleiches dürfte für Plinius [119] gelten. Muncke hat die Geschichte der diese Trennung anstrebenden Versuche geschrieben [120]. Danach wollten Leibniz, Graf Marsigli und Leutmann die Filtrierung anwenden; Lister, Chapman, Poissonnier, Irving u. a. dagegen zogen den — schon den arabischen Chemikern sehr geläufigen [121] — Destil-

lationsprozess vor. Wie einfach sich derselbe gestaltet, bewies Hayes [122], denn als auf der Rückkehr vom hohen Norden seinem Schiffe „United States" das Trinkwasser ausging, versorgte er seine Mannschaft ohne andere Hilfsmittel, als sie ihm ein Theekessel und ein Flintenlauf boten, mehrere Tage lang reichlich mit destilliertem Wasser.

In diesem Falle kam es auf die Gewinnung des Wassers an; oft aber wünscht man auch das Wasser wegzuschaffen, um das Seesalz zu erhalten, dessen Bedeutung sowohl für den Haushalt der Natur im grossen, wie auch für bestimmte Zwecke eine sehr tiefgehende ist; eine Schrift v. Schrencks [123] gibt hiefür alle Nachweisungen. Seesalzgewinnung vollzieht sich stets durch Verdampfung des Wassers. Teilweise besorgt dies die Natur selbst, und wenigstens viele jener Salzsteppen und Salzsümpfe, mit welchen wir später (Abteil. VIII, Kap. III und V) uns bekannt zu machen haben werden, sind Residuen verdampfter seichter Meere und Salzwasserseen. Sehr belehrend ist in dieser Beziehung das Beispiel des Karabugas, des östlichen Busens des Kaspischen Meeres, welcher wie eine Natursalzpfanne erscheint. Während jener meerartige Binnensee bei der Wolgamündung nur 0,15, bei der Halbinsel Apscheron 1,32, in der Kaidak-Bay 5,63 % Salz aufweist, steigt der Salzgehalt in jener breiten und flachen Bucht auf 28,5 % [124]. Mag man nun mit Peschel [125] den Kaspischen See als Meeresüberbleibsel betrachten oder nicht, jedenfalls ist der Karabugas, wie v. Baer [126] des näheren dargelegt hat, ein grossartiges Beispiel natürlicher Salzbereitung. Eingehend bespricht den Vorgang C. Lang (N. W., XIII, Nr. 39). — Die Menschen ahmen den Naturprozess nach, um sich da, wo Stein- oder Quellsalz ihnen versagt ist, mit dem notwendigsten Speisegewürze zu versorgen; noch in der zweiten Hälfte des XVIII. Jahrhunderts sah sich Nordostdeutschland auf regelmässige Zufuhr von Seesalz aus den Häfen der Normandie angewiesen [127]. Um die natürliche Verdunstung zu unterstützen, höhlt man, nach der Schilderung Kaysers [128], im Ufergesteine flache Becken aus (Salzgärten oder Meeressalinen; franz. „Marais salants"; span. „Marinhas"), und wenn dieselben zur Flutzeit sich gefüllt haben, verwandelt sich das Wasser unter dem Einflusse der Sonnenstrahlung teils in festes Salz, teils in Mutterlauge, die man als nutzlos ablaufen lässt. Die Bewohner der Insel Sardinien gewinnen, wie v. Maltzan ausführt [129], ihr Salz hauptsächlich auf diesem Wege. — Man darf übrigens nicht glauben, dass der Verdampfungsvorgang ein einheitlicher sei. Uziglios Versuche [130] haben bewiesen, dass die einzelnen im Meerwasser enthaltenen chemischen Verbindungen sich stets in bestimmter Reihenfolge abscheiden.

Eine genaue aprioristische Berechnung des Salzgehaltes einer bestimmten Meeresstelle ist auch dann nicht möglich, wenn man im Besitze aller für diesen Faktor charakteristischen Bedingungen zu sein glauben darf. Wohl aber treten uns gewisse Gesetzmässigkeiten überall entgegen, und zwar sind die folgenden beiden Leitsätze v. Boguslawskis [131] von Wichtigkeit. I. Der Salzgehalt des Meeres nimmt im allgemeinen von der offenen See gegen die Küsten hin ab. II. Der Salzgehalt ist am grössten innerhalb der beiden Passatzonen, am kleinsten in der äquatorialen Kalmenregion, und in den höheren Breiten lässt sich eine Zunahme der Salinitätsstufe gegen die Mitte des Passatgürtels wahrnehmen. Die vertikale Salzverteilung ist bisjetzt noch weniger bekannt, doch nimmt die Salinität gewiss, so wie dies Luksch [132] im Mittelländischen Meere ermittelte, vielfach gegen den Grund hin ab, was wohl auch nicht zu Gunsten der Hypothese (S. 431) von der Zerstörung unterseeischer Salzablagerungen durch das Meerwasser zu deuten ist. Im allgemeinen verhalten sich sonst freie und abgeschlossene Meere verschieden, denn die Vertikalzirkulation, welche eine Mischung der Schichten herbeiführt, kann in seichten Meeresbecken den Grund erreichen, im Ozeane aber nicht.

Die Nebenmeere (S. 378) weichen im Salinitätsgrade durchweg von den Hauptmeeren ab; entweder ist derselbe ein sehr hoher, wie beim Romanischen Mittel-

meere (Fig. 91), oder ein sehr niedriger, wie bei der Ostsee, welche nach Ackermann [133] längst in einen Brackwassersee, d. h. in einen Wasserbehälter von schwach angesäuertem Süsswasser verwandelt worden wäre, wenn nicht durch die Eingangspforten ein nicht rastender Strom von Salzwasser sich in das Baltische Meer ergösse. So ist denn auch, was mit Karstens [134] Beobachtungen im Einklange steht, zu erwarten, dass die Beltsee salinisch den Ozeanen am ähnlichsten sein, und dass gegen Osten zu der Charakter des Binnensees immer mehr hervortreten werde. Bei der Insel Alsen werden 2 %, bei der Halbinsel Hela nur noch ³/₄ % konstatiert. Die Halbinsel Dars verhindert, indem sie sich zusammen mit den Inseln Rügen und Bornholm als eine Art von Barrière vorlegt, ein weiteres Vordringen des salzführenden Nordseestromes. Bringt man, wie Karsten und H. A. Meyer gethan haben [135], die jährlichen Schwankungen des oberflächlichen Salzgehaltes durch Kurven zur Darstellung, so zeigt sich, dass dieselben für Skager Rak, Kattegat und Ostsee von gleichem Charakter sind, natürlich mit stark verschiedener Amplitude. Im Winter bleibt allenthalben die Salinität ziemlich konstant, aber in den Frühjahrsmonaten macht sich der Einfluss des Schnee- und Eisschmelzens geltend [136]. Eine lange Beobachtungsreihe in der östlichen Ostsee, welche man v. Sass [137] verdankt, ergab für die dortige Salinitätsstufe den Mittelwert 1,007755 und die Extremwerte 1,002355 und 1,005265. Bei Landwinden nahm in der Küstengegend der Salzgehalt zu, bei Seewinden nahm er ab.

Durch Vermittelung der Winde wird auch eine Wechselbeziehung zwischen Luftdruck und Salzgehalt hergestellt [138]. Regelmässig wehende, trockene Winde befördern die Verdunstung und erhöhen so die Salinität. Einfluss auf diese üben auch die Meeresströmungen, indem kalte Ströme einen sonst salzreichen Meeresteil salzärmer machen, und umgekehrt. Die aussüssende Wirkung der Flüsse beherrscht die ganze Litoralzone; darauf ist der geringe Salzgehalt des Schwarzen Meeres (37 ‰) zurückzuführen. Es scheint nach Hautreux' Beobachtungen [139] auch nicht gleichgültig zu sein, welche Phase der Gezeiten gerade eingetreten war, als man die Dichtebestimmung vornahm. Bei Hochfluten wäre danach ein stärkerer Salzgehalt zu erwarten, als bei der Ebbe.

Nach Buchanan [140] ist die Salinitätsstufe direkt bedingt durch die relative Trockenheit der Luft über der fraglichen Meeresstelle. Danach wäre es also von Bedeutung, die ungefähre Regenmenge zu kennen, welche auf eine Meeresfläche trifft; je grösser sie ist, um so geringer wäre die Salzmenge zu veranschlagen. Obwohl (S. 315) es noch an exakten Zahlen fehlt, die ja auch nur sehr schwierig zu beschaffen sind, so haben die Segelhandbücher für die verschiedenen Ozeane doch bereits Schätzungen ermöglicht, denen ein unleugbarer Wert zukommt, und es sollen nach W. G. Black [141] nachstehend die sichersten Daten mitgeteilt werden. Es treffen auf einen beliebigen ozeanischen Ort im Mittel:

Meer	Jährliche Niederschläge in Centimetern	Tage mit Niederschlägen
Nördlicher Atlantik	100	71
Südlicher Atlantik	63	88
Nördlicher Indischer Ozean . .	104	72
Südlicher Indischer Ozean . . .	117	118
Nördlicher Pazifik	126	172
Südlicher Pazifik	116	76

Ganz besonders regenreich würde die Nördliche China-See mit 285 cm und 133 jährlichen Regentagen sich darstellen, und hier sollte mithin auf einen geringen Salzgehalt geschlossen werden dürfen. Allein den von G. Schott [142] im Indischen Ozean gesammelten Erfahrungen zufolge wird die Beeinflussung des Salzgehaltes durch die atmosphärischen Niederschläge überschätzt, und das Wehen feuchter oder trockener Luft, welche jeweils die Evaporation behindert oder begünstigt, fällt weit mehr ins Gewicht. — Betreffs neuerer Forschungen Supans vergleiche den Nachtrag.

Fassen wir alle Einzelthatsachen zusammen, so sehen wir, dass die Bestimmung des Salzgehaltes ein sehr komplexes Problem ist, welches mit einer ganzen Reihe geophysikalischer Fragen in innigem

Zusammenhange steht. Immerhin steht der meteorologische Gesamtcharakter des betreffenden Meeres obenan, und die Einflussnahme des Festlandes und seiner Provenienzen ist eine beschränktere. Erschwert wird aber die Sache noch dadurch, dass der Begriff des Salzgehaltes selber nichts weniger denn einfach ist, wie wir im nächsten Paragraphen uns überzeugen werden.

§. 9. **Weiteres über die Chemie des Meerwassers.** Was in früherer Zeit auf dem Gebiete der qualitativen und quantitativen Meerwasseranalyse geleistet wurde — es kommen die Namen Horner, Baily, Lister, Schmidmeyer, Gay-Lussac, Lenz, Webster u. a. in Betracht —, hat Muncke [143] sorgfältig zusammengestellt und diskutiert. Von Wert waren besonders die Angaben des gewiegten Naturforschers v. Bibra [144], und dasselbe Lob gebührt auch den Leistungen von J. Davy [145]. Indessen wurden die früheren Untersuchungen sämtlich aufs entschiedendste überholt durch diejenigen von Forchhammer [146], welche auch für die entsprechenden Abschnitte der Werke v. Boguslawskis [147] und J. Roths [148] massgebend gewesen sind. Soweit die im Meere suspendierten Stoffe Festkörper sind, kommen daneben auch noch die Forschungen von Schmelck [149] sehr ernstlich in Betracht.

Im freien Meere, wo also grosse Schwankungen der Salinität nicht zu erwarten sind, besteht nach Forchhammer im Mittel die folgende Zusammensetzung:

Chemische Verbindung	Promille des Ozeanwassers	Prozent des Totalsalzgehaltes
Chlornatrium (Kochsalz)	26,862	78,32
Chlormagnesium	3,239	9,44
Magnesiasulfat (Bittersalz) . . .	2,196	6,40
Kalksulfat (Gips)	1,350	3,94
Chlorkalium	0,582	1,69
Kohlensäuresalze u. dgl. . . .	0,100	0,29

Auf 1000 Teile Meerwasser entfallen sonach durchschnittlich 34,3 Teile verschiedener Salze. In Prozenten ausgedrückt, sind Chloride 89,45, Sulfate 10,34 und Karbonate 0,21. Von dem ganz beträchtlichen Ueberwiegen der Chloride ist oben (S. 431) die Rede gewesen, als von den fluviatilen Stoffen im Meere behauptet ward, dass sie nur wenig ins Gewicht fielen.

Der Quotient, welcher erhalten wird, wenn man die Gesamtmenge des Salzes durch die Gesamtmenge der Chloride dividiert, wird Chlorkoëffizient genannt. Sei c diese Zahl, so bestehen die Ungleichungen: $1,807 < c < 1,811$. Man hielt sich nun lange Zeit für berechtigt, für die freien Ozeane volle Gleichförmigkeit in dem Verhältnis der einzelnen Hauptbestandteile des Meerwassers zum Gesamtsalzgehalte anzunehmen, so dass man den Chlorkoëffizienten direkt zur Bestimmung der Salinitätsstufe verwenden könnte. Dies ist die dritte der oben angeführten Methoden, welcher Petterson [150] sogar den Vorzug vor dem direkt-aräometrischen Verfahren geben möchte. Während man aber die erwähnte Gleichförmigkeit zwar für die Küstenzone und Nebenmeere in Zweifel zog, sonst aber als Thatsache hinnahm, fand Krümmel [151] anlässlich der Planktonexpedition, dass die Voraussetzung unzutreffend genannt werden muss: Der Chlorkoëffizient ist in Wahrheit nicht konstant, sondern wächst, wenn der Salzgehalt abnimmt. Diese wichtige Wahrnehmung hat das Vertrauen in die chemische Methode der Salinitätsbestimmung notwendig stark erschüttern müssen.

Das Prozentualverhältnis der wichtigen Bestandteile des Meerwassers bleibt in verschiedenen Tiefen wesentlich das gleiche; nur dann wird es, wie unlängst durch Murray und Irvine entdeckt ward [152], ein anderes, wenn das Wasser mit den blauen Tiefseethonen (S. 412) in unmittelbare Berührung gekommen ist. Alsdann verliert die Berechnung der Salinitätsstufe aus dem Chlorkoëffizienten erst recht alle Brauchbarkeit. Immerhin sind mehr denn 10 % aller Salze Sulfate, und diesen wird durch den Kontakt mit den Bodensedimenten ein grosser Teil des Schwefels entzogen und als Eisensulfid abgelagert, so dass allem Vermuten nach durch diese Decke auch die blaue Färbung des Schlammes bestimmt wird. Hie und da, z. B. im Schwarzen Meere, findet die Schwefelentziehung auch innerhalb des Wassers selber statt.

Im ganzen sind einige dreissig chemische Elemente als dem Meerwasser unter allen Umständen angehörig nachgewiesen worden. In einigermassen erklecklicher Menge sind folgende Grundstoffe vorhanden: Sauerstoff, Stickstoff, Wasserstoff, Kohlenstoff, Chlor, Natrium, Magnesium, Schwefel und Phosphor. Was sonst noch sich findet, konnte nur indirekt oder durch ganz besondere analytische Hilfsmittel erkannt werden [153].

So gelang der Spektralanalyse, deren Kraft wir (I, S. 67) in der Astrophysik kennen und schätzen lernten, die Auffindung von Arsen, Cäsium, Gold, Lithium und Rubidium. Aschenanalyse von Meerestang und Prüfung tierischer Kalkaussonderungen (S. 412) führte zur Entdeckung von Baryum, Blei, Bor, Fluor, Eisen, Jod, Kalium, Kobalt, Kupfer, Mangan, Nickel, Silber, Silicium, Zink; durch Abdampfung grösser Wassermassen und chemische Untersuchung des Kesselsteines von Dampfschiffen treten Aluminium, Calcium und Strontium hinzu. Das Element Brom, seiner medizinischen Eigenschaften halber jetzt viel genannt, ist sogar von Balard [154] zuerst aus dem Meere gewonnen worden, worauf es dann v. Spécz [155] auch anderweitig darzustellen lehrte. In Summa darf das Gesamtquantum aller festen Meeresbestandteile, soweit sie nicht den Salzen zuzurechnen sind, nach Schmelck (s. o.) mit 0,07 ‰ in Anschlag gebracht werden. — Das Auftreten der Edelmetalle im Seewasser ist seit der grundlegenden Arbeit [156] von Malaguti und Durocher bekannt; freilich handelt es sich dabei um ganz winzige Mengen, und wenn z. B. J. Herschel die Gesamtquantität des marinen Silbers auf das Zehnfache der Beträge schätzte, welche seit der Entdeckung Amerikas von allen Bergwerken der Erde geliefert wurde, so ist solch unbestimmten Taxationen wenig Vertrauen zu schenken [157]. Nach Munster soll, wie Freudenberg mitteilt [158], eine Tonne Seewasser 19 mg Silber und 6 mg Gold in sich bergen, und es ist auch angeregt worden, diese Bestandteile dem Meere in der Nähe der Küste durch Elektrolyse zu entziehen; doch dürfte es beim Vorschlage geblieben sein.

Neben den aus dem Wasser der Ozeane durch Analyse auszusondernden Feststoffen nehmen auch die vom Meerwasser aufgenommenen Gase unser volles Interesse in Anspruch. Mit Hilfe eines Titrierverfahrens v. Pettenkofers [159] konnten Jacobsen [160] und Tornöe [161] den Gasgehalt sehr zuverlässig ermitteln. Ein Liter Nordseewasser enthielt 50 ccm Kohlensäure, und innerhalb dieses Volumens standen Karbonate und Bikarbonate zu einander im ungefähren Verhältnis, wie 5 : 4. Den Gehalt von CO_2 — und dieser Stoff erscheint stets an die Alkalien des Salzwassers gebunden — bezeichnet man vielfach als Alkalinität des Seewassers.

Das Verhalten der Meeresluft entspricht, wie den Studien der erwähnten Chemiker zu entnehmen ist, nachstehenden Sätzen [162]: I. Nach Abscheidung des Kohlendioxydes stehen die Bestandteile des Sauerstoffes und Stickstoffes zu einander in einem Verhältnis, welches zwischen den Grenzwerten 0,492 und 0,538 variiert; II. die Temperatur übt auf dieses Verhältnis einen nachhaltigen Einfluss aus; III. die Gesamtmenge der vom Meerwasser absorbierten atmosphärischen

Luft ist in der Tiefe grösser, als an der Oberfläche. Höchst wahrscheinlich befindet sich die verschluckte Luft ursprünglich nur in den obersten Schichten und gelangt erst durch die niemals ganz fehlende Vertikalzirkulation tiefer hinab.

Der Absorptionsprozess ist in der Hauptsache von den Physikern aufgeklärt worden; die Gase dringen in die Flüssigkeit ein und werden in ihr festgehalten, bis sie durch Erwärmung und Druckverminderung ihre Freiheit wieder erlangen. Dabei aber behalten sie gleichwohl ihre bisherige Natur bei. Nun hat aber Jacobsen (s. o.) zuerst einen grundsätzlichen Unterschied aufgedeckt, welcher sich im Verhalten der Kohlensäure auf der einen und aller übrigen Gase auf der anderen Seite geltend macht. Es liegt für erstere nicht eigentliche Absorbierung, sondern ein eigentümlicher, sonst nicht vorkommender Zustand der Gebundenheit vor; auch durch stundenlanges Kochen lässt sich die Verbindung zwischen Kohlensäure und Meerwasser nicht vollständig lösen. Für das organische Leben der Tiefsee ist dieser merkwürdige Zwischenzustand gewiss von hoher Bedeutung, denn die Seetiere sind dadurch verhindert, das für ihre Lebensbedingungen schädliche Gas als solches einzuatmen, während doch die im Meere lebenden Pflanzen die ihnen (S. 16) unentbehrliche Kohlensäure in gewissem Maſse zugeführt erhalten. An der ostgrönländischen Küste sind in 1 kg Wasser 40 bis 60 mg Kohlensäure in diesem Zustande der Unfreiheit aufgefunden worden [163]. Eingehend hat auch Natterer, der Chemiker der „Pola"-Reise, sich mit der marinen Kohlensäure beschäftigt [164]; er zeigte, dass ein grosser Teil jenes CO_2, welches durch Oxydation organischer Reste sich bilden muss, durch Bindung zu kohlensaurem Ammoniak sich der unmittelbaren Kontrolle entzieht. Die chemische Reinigung des Meeres durch niedrig organisierte Pflanzen hat sich nach Natterer auch vor den Nilmündungen sehr deutlich erwiesen; dort, und im einspringenden Meereswinkel gegen Palästina, fehlten Jod, Brom und salpetrige Säure. Die zahlreich umherschwimmenden Gewächse hatten diese Stoffe in sich aufgenommen, dafür aber den Sauerstoffreichtum der dortigen Meeresluft erhöht.

Umgekehrt ist der Pontus, wenn man von einer nur wenige hundert Meter mächtigen Oberflächenschicht Abstand nimmt, ganz entblösst von organischem Leben, weil in der Tiefe Schwefelwasserstoff, der sich auch schon durch den Geruch zu erkennen gibt, reichlicher vorhanden ist [165]. Man könnte mutmassen, es seien auch die benachbarten Meere ähnlich beschaffen, allein nach den neuesten Untersuchungen der russischen Ozeanographen (S. 405) ist zu schliessen, dass das Marmara-Meer gar keine Spur von H_2S enthält und dafür auch eine abyssische Tierwelt aufweist.

[1] Rosenberger, Geschichte der Physik, III, Braunschweig 1882, S. 109. — [2] Rumford, Ueber ein merkwürdiges Gesetz bei der Verdichtung des Wassers durch Kälte, G. A. P., I, S. 436 ff. — [3] v. Boguslawski-Krümmel, Handbuch der Ozeanographie, I, Stuttgart 1884, S. 235 ff. — [4] Mühry, Ueber die Lehre von den Meeresströmungen, Göttingen 1869, S. 38 ff., 72 ff. — [5] L. Weber, Untersuchungen über die Temperatur der Maximaldichtigkeit für destilliertes Wasser und Meerwasser, Kiel 1877. — [6] F. Exner, Bestimmung der Temperatur, bei welcher das Wasser ein Maximum seiner Dichtigkeit hat, S. A. W., M. N., LXVIII, S. 469 ff. — [7] Joule, On the thermal Effects of compressing Fluids, P. T., 1859, S. 133 ff. — [8] Rosetti, Ueber das Dichtigkeitsmaximum und die Ausdehnung des destillierten Wassers aus dem Adriatischen Meere und einiger Salzlösungen, A. P. C., 5. E. B., S. 258 ff. — [9] Ebenda, S. 270. — [10] Schiaparelli, Sur le principe de la moyenne arithmétique, A. N., LXXXVIII, Sp. 55 ff. — [11] Despretz, Recherches sur le maximum de densité des dissolutions aqueuses, C. R., IV, S. 435 ff. — [12] Zöppritz, Das Verhalten des Meeres in der Nähe des Gefrierpunktes und die Statik der Polarmeere, A. P. C., 5. E. B., S. 497 ff. — [13] Ebenda, S. 525 ff. — [14] G. P. W., X, S. 1626 ff. — [15] Prestwich, Tables of Temperatures of the Sea at various Depths below the Surface, taken between 1749 and 1868. P. R., 1873/74, S. 462 ff. — — [16] Peschel-Ruge, Geschichte der Erdkunde bis auf A. v. Humboldt und C. Ritter, München 1877, S. 738. — [17] Parrot, Température des mers à des grandes profondeurs, B. A. C., 1839, Sp. 187 ff. — — [18] Lenz, Bemerkungen über die Temperatur des Weltmeeres in grossen Tiefen, A. P. C., LXXII, S. 615 ff. — [19] Castberg, Versuch über die Temperatur des Meeres in verschiedenen Tiefen, G. A. P., XIX, S. 349 ff. — [20] v. Boguslawski-Krümmel, I, S. 242 ff. — [21] Bunten-Blakadder etc., Neue physikalische Instrumente, Z. P. M., II, S. 74 ff., 240 ff. — [22] Walferdin, Sur divers procédés thermométriques, A. P. C., LVII, S. 541 ff. — [23] Pullen, On the temperature of the Sea, P. R. S., IX, S. 189 ff. — [24] Krümmel, Der Ozean, eine Einführung in die allgemeine Meereskunde, Leipzig 1886, S. 44. — [25] C. Lang, Ueber eine einfache Art, Thermometer zum Beobachten von Temperaturen in Brunnen, Flüssen und Seen zu montieren, Z. ö. G. M., XVIII, S. 365 ff. — [26] Handbuch der nautischen Instrumente, Berlin 1882, S. 164 ff. — [27] Neumayer, Ueber ein neues Instrument zur Messung von Tiefseetemperaturen, V. G. E. B., I, S. 20 ff. — [28] Michaelis, Tiefseephotometer, A. H. m. M., XI, S. 475 ff. — [29] T. Bl., 1874, S. 64. — [30] W. A. Miller, Note upon a Self-Registering Thermometer adapted to Deep-Seea Soundings, P. M., 1869, S. 395 ff. — [31] Krümmel, Der Ozean, S. 123. — [32] Negretti-Zambra, On a new Deep-Sea-Thermometer, P. R. S.,

1873/74, S. 238 ff. — [33] Handbuch der Ozeanographie und maritimen Meteorologie, I, Wien 1883, S. 107. — [34] E. Richter, Seetiefenmessungen mittelst des Thermophones, G. Z., IV, S. 412. — [35] J. Girard, Sondages de l'océan pacifique, B. S. G. F., 1874, S. 530. — [36] Hann, Handbuch, der Klimatologie, I, Stuttgart 1897, S. 130. — [37] W. Köppen, Temperatur des Wassers und der Luft an der Oberfläche der Ozeane, A. H. m. M., XVIII, S. 445 ff. — [38] G. Schott, Wissenschaftliche Ergebnisse einer Forschungsreise zur See 1891 und 1892, P. G. M., E. H. Nr. 109. — [39] G. Schott, Die jährliche Temperaturschwankung des Ozeanwassers, P. G. M., XLI, S. 154 ff. — [40] Krümmel, Der Ozean, S. 114 ff. — [41] Krümmel, Geophysikalische Beobachtungen der Planktonexpedition, Kiel 1893, Tab. I. — [42] Meteorologisk Aarbog for 1892 udgivet af det Danske Meteorologisk Institut, III, 7 ff.; K. J., V, S. 187 ff. — [43] v. Boguslawski-Krümmel, I, S. 235 ff. — [44] Luksch-J. Wolf, Physikalische Untersuchungen in der Adria, Wien 1887. — [45] J. J. Wild, Thalassa; an Essay, on the Depth, Temperature and Currents of the Ocean, London 1877, S. 58 ff. — [46] Supan, Grundzüge der physischen Erdkunde, Leipzig 1896, S. 261 ff. — [47] Krümmel, Der Ozean, S. 116. — [48] J. Herschel, Physical Geography (Cyclopaedia Britannica), Edinburgh 1818. — [49] v. Boguslawski-Krümmel, I, S. 236. — [50] Ebenda, I, S. 242 ff. — [51] Krümmel, Der Ozean, S. 129 ff. — [52] Ebenda, S. 134. — [53] G. Schott, Das Aegäische Meer, Gl., LVII, S. 310 ff. — [54] v. Boguslawski-Krümmel, II, S. 290 ff. — [55] Forel, La thermique de la Méditeranée, A. s. p. n., (3) XXV, S. 145 ff. — [56] v. Boguslawski-Krümmel, I, S. 250 ff.; Handbuch etc., I, S. 294 ff. — [57] Krümmel, Die Temperaturverteilung in den Ozeanen, Z. w. G., VI, S. 30 ff. — [58] G. Schott, Die Ozeanographie in den Jahren 1895 und 1896, G. Z., IV, S. 41 ff. — [59] Wyville Thomson, The Atlantic, London 1877. — [60] Petterson, Die Bedeutung des Golfstromes für das Klima von Nordeuropa, M. Z., XIII, S. 285 ff. — [61] G. Schott, a. a. O., S. 43. — [62] G. Schott, Die Gewässer der Bank von Neu-Fundland und ihrer weiteren Umgebung, P. G. M, XXXXIII, S. 201 ff. — [63] Puff, Das kalte Auftriebswasser an der Ostseite des Nordatlantischen und an der Westseite des Nordindischen Ozeans, Marburg i. H. 1890. — [64] Ebenda, S. 92 ff. — [65] v. Boguslawski-Krümmel, I, S. 267. — [66] Ebenda, I, S. 281. — [67] Ebenda, I, S. 285. — [68] Ebenda, I, S. 295. — [69] Ebenda, I, S. 311 ff. — [70] Ebenda, I, S. 315. — [71] Meteorological Charts of the Read See, London 1895. — [72] Supan, Besprechung hiezu, P. G. M., L. B., XLI, Nr. 864; G. Schott, Desgleichen, A. H. m. M., XXIV, S. 28 ff.— [73] K. J., VIII, S. 180 ff. — [74] v. Boguslawski-Krümmel, I, S. 320 ff. — [75] Handbuch etc., I, S. 306 ff. — [76] Weyprecht, Die Metamorphosen des Polareises, Wien 1881, S. 352. — [77] Krümmel, Die Fortschritte der Ozeanographie 1895 und 1896, W. G. J., XX, S. 216. — [78] Meddelelser om Grönland, XVII, Kopenhagen 1895, S. 193 ff. — [79] v. Boguslawski-Krümmel, I, S. 350. — [80] Ebenda, I, S. 357 ff. — [81] Charts showing the Surface Temperatures of the Atlantic, Indic and Pacific Ocean, published by the Authority of the Meteorological Council, London 1884. — [82] G. Schott, Die Ozeanographie etc., S. 44. — [83] Handbuch etc., I, S. 93 ff. — [84] Hales, On some Trials to keep Water and Fish sweet with Lime-Water, P. T., 1754, S. 213 ff. — [85] Marcet, On the Specific Gravity and Temperature of Sea-Water and Account of their Saline Contents, P. T., 1879, S. 161 ff. — [86] Scoresby, An Account of the Arctic Regions with a History and Description of the Northern Wale Fishery, I, Edinburgh 1820, S. 185. — [87] J. K. E. M., I, Berlin 1873, S. 5. — [88] Krümmel, a. a. O., S. 203. — [89] Handbuch d. naut. Instrum., S. 171 ff. — [90] E. Gerland, Zur Geschichte der Erfindung des Aräometers, A. P. C., (2) II, S. 150 ff.; M. C. P. Schmidt, Besprechung hiezu, P. Wt., III, S. 1224 ff. — [91] G. P. W., I, S. 351. — [92] Schwenter, Deliciae physico-mathematicae oder Mathematisch-Philosophische Erquickstunden, Nürnberg 1626, S. 306. — [93] Boyle, Hydrostatical Paradoxes made out by new Experiments for the most Part physical and easy, London 1683; Deschales, Cursus seu Mundus mathematicus, III, Lyon 1690, S. 102 ff. — [94] Handbuch d. naut. Instrum., S. 177 ff. — [95] R. M. C., CXXIV, S. 696 ff. — [96] Pixis, Kepler als Geograph, M. G. St., V, S. 53. — [97] Abbe, Neue Apparate zur Bestimmung des Brechungs- und Zerstreuungsvermögens fester und flüssiger Körper, J. Z. N., (2) I, S. 96 ff.; Krümmel, Das Doppelbild-Refraktometer zur Bestimmung des spezifischen Gewichtes des Seewassers auf optischem Wege, A. H. m. M., XXII, S. 241 ff. — [98] Hann, Das spezifische Gewicht des Eismeerwassers, M. G. G. W., 1875, S. 351 ff. — [99] Thorpe-Rücker, On the Expansion of the Sea-Water by Heat, P. T., 1877, S. 405 ff. — [100] Krümmel, Ueber die Bestimmung des spezifischen Gewichtes des Seewassers an Bord, A. H. m. M., XVIII, S. 381 ff. — [101] Supan, Grundzüge etc., S. 213. — [102] G. Karsten, Untersuchungen über das Verhalten der Auflösungen des reinen Kochsalzes im Wasser, Berlin 1845. — [103] Tornöe, Resultate der norwegischen Nordmeerexpedition, J. p. C., XIX, S. 401 ff.; XX, S. 44 ff. — [104] Krümmel, Ueber einige neuere Beobachtungen an Aräometern, A. H. m. M., XXII, S. 415 ff. — [105] Thoulet, Océanographie statique, Paris 1890, S. 328 ff. — [106] Makarow, Le Vitiaz et l'Océan Pacifique etc., I, St. Petersburg 1894, S. 47 ff. — [107] Buchanan, On the Distribution of Salt in the Ocean, as indicated by the Specific Gravity of the Waters, J. R. G. S., 1877, S. 72 ff. — [108] M. V. E. H., 1882, S. 139 ff. — [109] Krümmel, Geophysikalische Beobachtungen der Plankton-Expedition, S. 62 ff. — [110] G. Schott, Wissenschaftliche Ergebn. etc., Tab. 2. — [111] Aristoteles, Meteorologica, lib. II, cap. 9. — [112] Halley, An Account of the Circulation of the watry Vapours of the Sea, and of the Cause of Springs, P. T., 1691, S. 468 ff. — [113] v. Boguslawski-Krümmel, I, S. 132. — [114] Fichtel, Mineralogische Bemerkungen von den Karpaten, I, Wien 1791, S. 195. —[115] J. Roth, Allgemeine und chemische Geologie, I, Berlin 1879, S. 490 ff. — [116] Kuntze, Phyteogenesis, Leipzig 1884, S. 64 ff. — [117] Schleiden-Voges, Das Meer, Leipzig 1885, S. 32 ff. — [118] Wisotzki, Zeitströmungen in der Geographie, Leipzig 1897, S. 61 ff., 76 ff. — [119] Plinius, Historia Naturalis, lib. XXXI, cap. 6. — [120] G. P. W., VI, 3, S. 1653 ff. — [121] Humboldt, Kosmos, II, S. 306. — [122] Hayes-Martin, Das offene Polarmeer, Jena 1867, S. 383. — [123] v. Schrenck, Ueber die Bedeutung des Salzgehaltes des Seewassers im Haushalte der Natur, St. Petersburg 1876. — [124] Supan, a. a. O., S. 543. — [125] Peschel, Neue Probleme der vergleichenden Erdkunde, Leipzig 1879, S. 174. — [126] K. E. v. Baer, Kaspische Studien, A. K. R., XIV, S. 627 ff.; XV, S. 387 ff. — [127] Haken, Joachim Nettelbeck, Bürger von Kolberg, Leipzig 1845, S. 131. — [128] Kayser, Physik des Meeres, Paderborn 1873, S. 118 ff. — [129] v. Maltzan, Reise nach der Insel Sardinien, Leipzig 1869, S. 121 ff. — [130] Uziglio, Analysis of Waters of the Mediterranean, P. M., 1850, S. 404 ff. — [131] v. Boguslawski-Krümmel, I, S. 134. — [132] Luksch-J. Wolf, Physikalische Untersuchungen im östlichen Mittelmeere, Wien 1893, S. 42. — [133] Ackermann, Beiträge zur physischen Geographie der Ostsee, Hamburg 1883, S. 148. — [134] G. Karsten, Die Beobachtungen über die physischen Eigenschaften des Wassers der Ostsee und Nordsee, Kiel 1879. — [135] H. A. Meyer, Periodische Schwankungen des Salzgehaltes im Oberflächenwasser in der Ostsee und Nordsee; G. Karsten, Die Beobachtungen in den Küstenstationen und Schiffsbeobachtungen, Kiel 1884. — [136] Ebenda, S. 9. — [137] v. Sass, Resultate aus Untersuchungen über die Variationen im Salzgehalte des Ostseewassers, Z. G. E. B., II, S. 481 ff. — [138] Supan, S. 214. — [139] Hautreux, Observations sur la densité de l'eau, faites à Royan, M. B., (2) V, S. XXVI. — [140] Buchanan, a. a. O., S. 86. — [141] B. A. Z., 1898, Nr. 108. — [142] G. Schott,

Wissensch. Ergebn., S. 112 ff. — [143] G. P. W., VI, 3, S. 1625 ff. — [144] v. Bibra, Reise in Südamerika, Mannheim 1854; Die Fahrt um das Kap Hoorn, Nürnberg 1861. — [145] J. Davy, On the Temperature of the Ocean and Atmosphere, and on the Density of Sea-Water, P. T., 1817, II, S. 275 ff. — [146] G. Forchhammer, On the Composition of Sea-Water in the different Parts of the Ocean, P. T., 1865, S. 203 ff. — [147] v. Boguslawski-Krümmel, I, S. 127 ff. — [148] J. Roth, a. a. O., S. 490 ff. — [149] Schmelck, Ueber die im Seewasser enthaltenen festen Bestandteile, J. p. C., (2) XXII, S. 168 ff. — [150] Petterson, Experimentelle Methoden und Untersuchungen in der physikalischen Chemie, N. A. U., 1879; J. p. C., XXIV, S. 129 ff., 164 ff., 293 ff. — [151] Krümmel, Geophysikalische Beobachtungen etc., S. 70 ff. — [152] T. R. S. E., XXXVII, S. 481 ff.; K. J., V, S. 188 ff. — [153] v. Boguslawski-Krümmel, I, S. 118. — [154] Balard, Mémoire sur une substance particulière contenue dans l'eau de la mer (le brôme), J. Ph., 1826, S. 517 ff. — [155] v. Spécz, Etwas über Brom, Z. P. M., II, S. 484 ff. — [156] Malaguti-Durocher, Observations relatives à la présence de l'argent dans l'eau de la mer, C. R., XLIX, S. 536 ff. — [157] Krümmel, Der Ozean, S. 95. — [158] Freudenberg, Gold und Silber im Meerwasser, A., LXVI, S. 366 ff. — [159] v. Pettenkofer, Ueber die Bestimmung der freien Kohlensäure im Trinkwasser, J. H. C., LXXII, S. 32 ff. — [160] Jacobsen, Die Luft im Meere, A. C. Ph., CLXVII, S. 1 ff. — [161] Tornöe, Ueber den Salzgehalt des Wassers im norwegischen Nordmeere, S. A. W., M. N., 1880, II, S. 924 ff. — [162] v. Boguslawski-Krümmel, I, S. 136 ff. — [163] G. Schott, Die Ozeanographie etc., G. Z., IV, S. 94. — [164] Natterer, Chemische Untersuchungen im östlichen Mittelmeere, C. C., 1894, I, S. 189 ff.; W. A. A., 1894, S. 107 ff. — [165] G. Schott, a. a. O., S. 93.

Kapitel IV.

Die Wellenbewegungen des Meeres; Ebbe und Flut.

§. 1. **Undulatorische Bewegung im allgemeinen.** Die Mechanik lehrt, dass es zweierlei Arten von Bewegungen gibt: progressive (progredi, fortschreiten) oder translatorische (transferre, forttragen) auf der einen und oszillatorische, vibratorische oder undulatorische (oscillare, vibrare, undulare, sich in Schwingung befinden) auf der anderen Seite. Durch die Bewegung ersterer Art wird bewirkt, dass der bewegte Körper im Raume fortschreitet, seinen Ort dauernd und unausgesetzt wechselt; undulatorische Bewegungen dagegen haben zur Folge, dass der bewegte Körper sich nicht weit von dem ursprünglich innegehabten Orte entfernt, sondern immer wieder an den Platz zurückkehrt, welchen er bei Beginn der Bewegung einnahm. In Kap. IV der dritten Abteilung sind solche schwingende Bewegungen der Erdfeste, in Kap. VI der fünften Abteilung sind ebensolche Bewegungen der Atmosphäre Gegenstand der Betrachtung gewesen; nunmehr haben wir es mit Schwingungen innerhalb einer ausgedehnten Masse tropfbarer Flüssigkeit zu thun. Als solche betrachten wir zunächst das Meer, doch wird dabei auch auf analoge Bewegungsverhältnisse in Binnenseen Rücksicht genommen werden können.

Die wenig entwickelte Bewegungslehre des Altertums hatte sich den grossen Gegensatz, dessen wir soeben gedachten, noch nicht klar gemacht; als den ersten, der ihn richtig erfasste, haben wir vielmehr den genialen Polyhistor Lionardo da Vinci zu bezeichnen [1]. Er erkannte mit klarem Blicke, dass, wenn eine flüssige Masse durch einen Anstoss in Oszillation versetzt wird, jedes einzelne Flüssigkeitsteilchen nur ganz kleine Wege beschreibt, während eine Welle, die er passend mit dem Wogen eines vom Sturme gepeitschten Getreidefeldes vergleicht, die ganze Masse durchläuft. Man werfe, sagt er in einem seiner Handschriftenbände, einen Strohhalm in einen Teich, dessen Oberfläche durch einen hineingeschleuderten Stein derart erregt ist, dass sich der Anstoss in immer grösser werdenden Kreisen bis in grosse Entfernungen fortpflanzt; „man beobachtet dann, wie der Halm fortwährend von der Wellenbildung bewegt wird, ohne den Ort zu ändern“. So wurde Lionardo zum Begründer einer neuen physikalischen

Disziplin, der Wellenlehre, deren Anfänge und frühere Entwickelungsstadien Muncke in seinem Lexikonartikel „Wellen" [2] sehr übersichtlich und umfassend geschildert hat.

Eine mathematische Theorie der Wellenbewegung suchte zuerst Newton [3] in Abschnitt VIII des zweiten Buches seines Fundamentalwerkes („Von der in Flüssigkeiten fortgepflanzten Bewegung") zu entwerfen, und in der That dürfen auch seine Ausführungen als die Grundlage für die bald nachher in Angriff genommene Begründung einer wissenschaftlichen Lehre vom Schalle betrachtet werden. Auch die Lichttheorie von Huygens [4] arbeitete einer allgemeinen Auffassung der Undulationslehre vor, wenngleich dieselbe noch ausschliesslich auf der Annahme von Longitudinalschwingungen beruhte. Die wesentlich analytischen Arbeiten von D. Bernoulli, L. Euler, Laplace und Lagrange trugen nicht wesentlich dazu bei, unseren Einblick in das Wesen des Vorganges zu vertiefen, schon deshalb, weil die für die Wellenbewegung im elastischen Medium gewonnenen Ergebnisse zu rasch auch für die Wasserwellen nutzbar gemacht wurden, und erst durch Flaugergues [5] wurde ein wirklicher Fortschritt angebahnt, darin bestehend, dass er — gestützt auf rationelle Versuche, die mit denen der Gebrüder Weber eine gewisse Aehnlichkeit haben — die Wellenkurve durch eine Gleichung darstellte. Unter A eine Konstante verstanden, setzte er im Orthogonalsysteme, dessen Abszissenachse mit der Fortpflanzungsrichtung der Welle zusammenfallend gedacht wird, $x = A (1 - \cos y)$, und diese Gleichung, welche einer zyklischen Kurve entspricht, ist wenigstens bedingt richtig, für sehr flache Wellen nämlich. Die Forderungen der Wasserbaukunst veranlassten Gerstner [6], die damals bereits gefundenen Differentialgleichungen der Hydrodynamik für die Bestimmung der Wellenkurven zu verwerten, und wir werden sein Resultat, dass dieselben stets zu denjenigen krummen Linien gehören, welche von einem beliebigen, mit dem Zentrum fest verbundenen Punkte der Ebene eines rollenden Kreises beschrieben werden, durch eine elementare Betrachtung bestätigt finden; freilich ist die Gerstnersche Theorie, wie Brandes [7] hervorhob, keineswegs frei von Mängeln, denn z. B. über die Abhängigkeit der Wellengestalt von der Wassertiefe versagt sie die Auskunft. Immerhin wurde auch durch die mathematisch weit bedeutenderen Untersuchungen von Poisson [8], Plana [9] und Cauchy [10] keine eigentliche Förderung derjenigen Fragen erzielt, um deren Lösung es der Geophysik hauptsächlich zu thun ist. Experimente waren fürs erste notwendiger, und wirklich wurden solche von Bidone [11], der sich speziell die Prüfung von Poissons Aufstellungen angelegen sein liess, in grossem Masstabe angestellt. Er erzeugte die nachher in ihrer Fortpflanzung beobachteten Wellen dadurch, dass er einen Zylinder oder anderen Rotationskörper in Wasser eintauchen liess und dann plötzlich in die Höhe zog, allein die Adhäsion drängte sich bei diesen Versuchen als ein störendes Element ein, welches die Gebrüder Weber durch eine anderweite, sehr zweckmässige Versuchungsanordnung auszumerzen wussten.

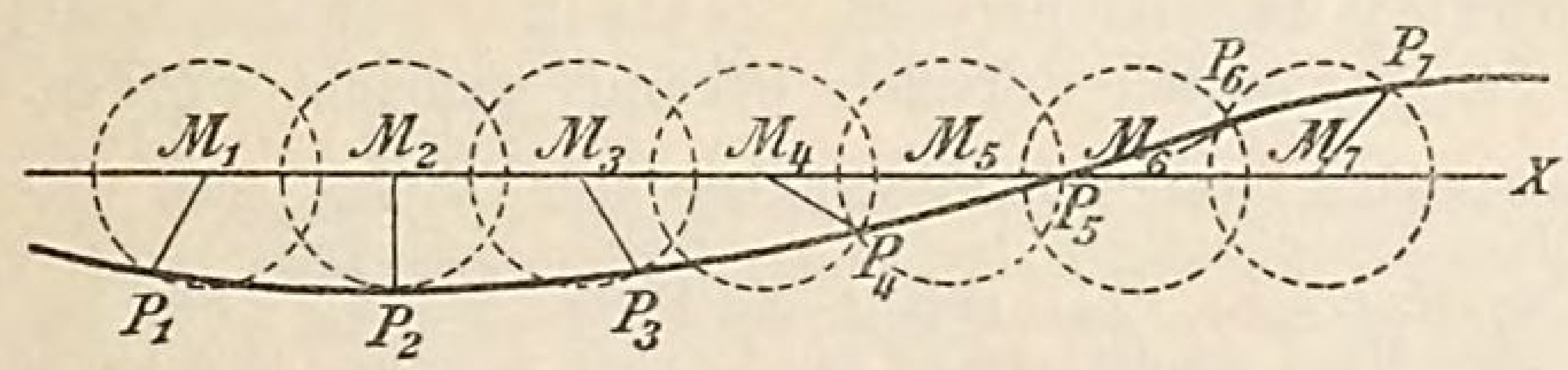
In dem Werke [12] dieser beiden Männer wurde die Lehre von den Flüssigkeitswellen in der Weise begründet und gestaltet, wie sie seither zum Gemeingute der Wissenschaft geworden und in allen Lehrbüchern vorgetragen ist. Die Beobachtungen wurden durchweg an der sogenannten Wellenrinne angestellt, einem länglichen Parallelepipedum, dessen Wände Glasfenster waren, so dass man die Bewegungen des Wassers im Kasten bequem verfolgen konnte; feine Körperchen (Bernsteinpulver), welche man dem Wasser beimengte, gestatteten speziell das Studium der Oszillationen. Um letztere hervorzurufen, tauchte der Experimentator ein Röhrchen oberflächlich nahe dem einen Ende der Rinne ein und zog durch Saugen eine kleine Quantität Wasser empor; sobald diese niederfiel, kam die Masse in Schwingungen, und deren Eigentümlichkeiten konnten so mit einer Genauigkeit ermittelt werden, welche vorher nicht zu erreichen gewesen war.

Was man schon dem Prinzipe nach wusste, wurde jetzt in seinen Einzelheiten festgestellt: Durch konsekutive Fortpflanzung setzt sich die rein oszillatorische Bewegung der einzelnen Flüssigkeitsteilchen um in eine fortschreitende Wellenbewegung. Die erstere wird wohl auch als Orbitalbewegung (orbis, Kreis) bezeichnet, und die Kombination beider Vorgänge lässt sich durch Zeichnung, und — im Anschlusse an diese — durch den als Wellenmaschine

allgemein bekannten Apparat unserer physikalischen Laboratorien leicht veranschaulichen [13]. In Fig. 92 wird gezeigt, wie sich das Wellenprofil als das Ergebnis zyklischer Bewegungen ergibt.

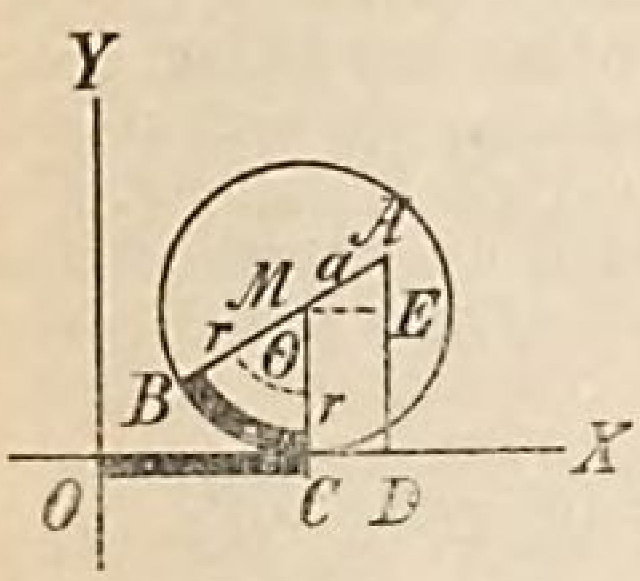
Es wird angenommen, jedes Teilchen bewege sich in der Peripherie eines Kreises von konstantem Radius r. Die Mittelpunkte eines linear aufgereihten Systemes solcher Kreise seien M_1, M_2, M_3, M_4, M_5, M_6, M_7; dieselben sollen sämtlich äquidistant sein. Während das den Kreis um M_1 zurücklegende Teilchen sich in P_1 befindet, nimmt das zweite, dritte ... siebente resp. den Punkt P_2, P_3 ... P_7

Fig. 92.



ein, und zwar ist die Lage eines jeden Punktes, wenn wir uns noch den zu jedem gehörigen Halbmesser gezogen denken, bestimmt durch die Gleichungen $\sphericalangle P_1 M_1 X - \sphericalangle P_2 M_2 X = \sphericalangle P_2 M_2 X - \sphericalangle P_3 M_3 X = \ldots = \sphericalangle P_k M_k X - \sphericalangle P_{k+1} M_{k+1} X$ u. s. w. Man kann sich, darauf spielten wir oben schon an, die durch Verbindung der Punkte P_1, P_2, P_3 ... entstehende krumme Linie auch in der Weise entstanden denken, dass man annimmt, ein Kreis vom Radius r rolle auf einer geraden, von $M_1 X$ um r abstehenden Geraden, während ein Punkt seiner Ebene, der vom Mittelpunkt die Entfernung a hat, in seiner Bewegung betrachtet wird. Die Gleichung der Kurve leiten wir in Fig. 93 ab, in welcher X O Y das rechtwinklige Koordinatensystem vorstellt. Die augenblicklichen Koordinaten des Kreiszentrums sind O C und M C = r; diejenigen des Punktes A (A M = a) sind O D = x und A D = y. Verlängern wir A M bis zum Durchschnitt mit dem Kreisumfang in B und setzen $\sphericalangle B M C = \Theta$, so ist Bogen $B C = r\Theta = O C$, wie sich dies aus dem Begriffe des Rollens ergibt. Fällt man ferner aus M auf A D die Senkrechte M E = C D, so hat man ohne weiteres, da auch $\sphericalangle M A E = \Theta$ ist, die folgenden beiden Gleichungen:

Fig. 93.



$$x = r\Theta + a \sin \Theta, \quad y = r + a \cos \Theta.$$

Aus der zweiten Gleichung Θ bestimmend und den Wert in der ersten einsetzend, erhalten wir als Gleichung der Kurve diese:

$$x = r \operatorname{arc} \cos \frac{y - r}{a} + \sqrt{a^2 - (y - r)^2}.$$

Eine solche Rollkurve oder zyklische Kurve wird als gestreckte, gewöhnliche oder verkürzte Zykloide (κυκλοειδής, kreisähnlich) bezeichnet, je nachdem $AM \gtreqless r$ vorausgesetzt ward. Im XVII. Jahrhundert, als man diese geometrischen Gebilde zuerst eingehender erforschte [14], fasste man auch wohl alle Rollbewegungen als Trochoiden (τρόχος, Kreislauf; τροχοειδής, radförmig) zusammen.

Aus diesem Grunde nennt man die Wellentheorie, deren Hauptsatz wir soeben entwickelten, die trochoidische. Dieselbe ist hauptsächlich von G. H. L. Hagen [15] in die Form gebracht worden, welche sie gegenwärtig in der Hydrodynamik einnimmt, nachdem vorher schon Stokes [16] und Rankine [17] die mathematische Seite der Lehre unter Berücksichtigung der Erfahrungsthatsachen weitergebildet hatten. Zunächst hatte es sich ja immer nur um die oszillatorische Bewegung des Wassers an der Oberfläche oder in dessen

nächster Nähe gehandelt, und zudem war von den denkbarst einfachen Voraussetzungen ausgegangen worden. Für eine allgemeine, den wirklichen Verhältnissen möglichst angepasste Auffassung des Bewegungsprozesses kommen neben denjenigen Hagens (s. o.) vornämlich noch die Arbeiten von Aimé [18], Boussinesq [19], Lord Rayleigh [20], Bertin [21], Caligny [22], Froude [23] und Cialdi [24] in Betracht; Airys kompendiarische Darstellung [25] ist wohl weniger bekannt geworden, als es ihr Inhalt, auf den wir bei der Lehre von den Gezeiten zurückkommen werden, verdiente. Deutsche Leser sind durch die übersichtliche Darstellung Krümmels [26] mit den wichtigsten Ergebnissen der genannten Forscher bekannt gemacht worden.

Jedes einzelne Flüssigkeitsteilchen legt den Umfang einer Kurve von ganz geringen Dimensionen zurück, bis es an seinem ursprünglichen Orte zur Ruhe kommt; diese Kurve ist nicht gerade ein Kreis, wie wir oben der Einfachheit halber uns vorstellten, sondern mehr oval; auch wird nur in Ausnahmefällen von einer Geschlossenheit derselben gesprochen werden können. Während das einzelne Teilchen wesentlich auf- und abpendelt, gleitet jede Welle gewissermassen horizontal unter ihm fort. Der Augenschein lässt uns Wellenthäler und Wellenberge unterscheiden, und der Horizontalabstand zweier nächst benachbarter Punkte gleicher Phase wird Wellenlänge genannt; Wellenhöhe ist der Abstand je eines Berggipfels oder des tiefsten Punktes eines Thales von der die — symmetrisch angenommene — Kurve zweiteilenden geraden Linie. Die Gestalt und das Fortschreiten der Welle werden namhaft beeinflusst durch die Tiefe des Gewässers, so dass wir also zwei extreme Fälle wohl auseinanderzuhalten haben.

Wenn es sich um sehr tiefe Wasserbecken handelt, so kann zur Erleichterung der Rechnung ohne wesentlichen Fehler die Tiefe als unendlich gross angenommen werden; thut man dies nicht, so werden die Formeln, wie sich gleich zeigen wird, verwickelter. Für eine beliebig grosse, konstante Tiefe h′ hat St. Venant [27], indem er die Flüssigkeitsmasse als nach allen Seiten unermesslich ausgedehnt voraussetzte, mit h die Wellenhöhe und mit l die Wellenlänge bezeichnete, nachstehende Gleichung der Orbitalbahn ermittelt:

$$[\mathfrak{Sin}(\pi h' : l)]^2 \cdot [(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2] = \tfrac{1}{4} h^2 \cdot [\mathfrak{Sin}(2\pi (h' - y_0) : l)]^2.$$

Man sieht, dass dies die Gleichung einer Ellipse ist, wie das seinerseits auch Airy (s. o.) fand. Das Koordinatensystem ist so gelegt, dass die X-Achse mit der Fortschreitungsrichtung der Welle zusammenfällt, die Y-Achse darauf in der Vertikalebene senkrecht steht; x_0 und y_0 sind die Koordinaten eines fixen Punktes, also konstant; das Zeichen $\mathfrak{Sin}$ bedeutet (vgl. I, S. 431) den hyperbolischen Sinus des Argumentes. Gesetzt, h′ würde $= \infty$ gesetzt, so würde

$$\mathfrak{Sin}(\pi h' : l) : \mathfrak{Sin}(2\pi (h' - y_0) : l) = 1,$$

und jedes einzelne Teilchen beschriebe einen Kreis von der Gleichung $(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2 = \tfrac{1}{4} h^2$. In sehr tiefem Meere nähert sich mithin die an sich elliptische Orbitalbahn um so mehr einem Kreise, je grösser die Tiefe ist, und mit um so grösserem Rechte kann zugleich die Wellenkurve als rein trochoidisch angesehen werden. Beiläufig bemerkt, beweisen unsere Formeln auch, wie gut man daran thut, bei allen auf die Bewegung von und in Flüssigkeiten bezüglichen Untersuchungen den die Darlegungen von Airy, St. Venant u. s. w. so schwerfällig machenden, ungefügen Exponentialfunktionen die weitaus übersichtlicheren und auch die Diskussion beträchtlich erleichternden Hyperbelfunktionen zu substituieren, indem man von den Transformationsgleichungen $e^{\pm u} = \mathfrak{Cos}\, u \pm \mathfrak{Sin}\, u$ entsprechenden Gebrauch macht. — Auf synthetischem Wege hat Mottez [28] die von St. Venant gefundenen Resultate zu begründen gelehrt.

Je tiefer ein Teilchen unter dem Niveau liegt, um so kleiner wird der Radius des Orbitalkreises, und zwar nach Rankine (s. o.) in geometrischer Progression, wenn der Abstand von der Oberfläche in arithmetischer Reihe zunimmt. Die Geschwindigkeit wird proportional der Wurzel aus

der Wellenlänge gefunden; mit dieser Geschwindigkeit pflanzt sich der oszillatorische Anstoss durch die Wassermasse fort, während die Orbitalgeschwindigkeit, mit welcher also jedes einzelne Flüssigkeitsteilchen in der ihm angewiesenen Bahn sich bewegt, gleichfalls [29] nach unten zu in geometrischer Progression abnimmt.

Wenn man für Wellen in flachem Wasser wiederum von den allgemeinen Formeln ausgeht, so zeigt sich, dass die für die Fortpflanzungsgeschwindigkeit c gefundene Grösse sich nur so unwesentlich ändert, dass man für gewöhnlich von dieser Aenderung abzusehen ein Recht hat; es verbleibt $c = \sqrt{(g:\pi) \cdot l}$, wo g die Beschleunigung der Schwerkraft (I, S. 179) bedeutet, solange die Wassertiefe grösser als die Wellenlänge ist, wie das im offenen Meere immer zutrifft, wenn man es mit gewöhnlichen Windwellen zu thun hat. Die Gezeitenwellen und noch mehr die gewaltigen Wogen, welche ein Erdbeben auslöst (I, S. 491), ordnen sich jener Voraussetzung nicht mehr unter, und es ergibt sich die uns von dort her bekannte Formel $c = \sqrt{2\,g\,h'}$.

Was die Tiefen anlangt, bis zu welchen die Wellenbewegung vordringt, so sind wir für deren Erkundung besonders auf die Versuche von Aimé (s. o.) und auf Beobachtungen indirekten Charakters angewiesen. Ersterer fand, dass selbst dann, wenn die Wellenhöhe am Spiegel des (Mittelländischen) Meeres nur 3 m betrug, noch in 28 m Tiefe eine ziemlich kräftige, in 40 m Tiefe allerdings nur noch eine minimale Oszillation erkennbar war. Sodann hat man gewisse regelmässige Eintiefungen und Erhöhungen, welche man zum öfteren am Meeresgrunde beobachtet und als Wellenfurchen oder Rippelmarken (ripple, engl. = sich kräuseln) bezeichnet, auf den Wellenschlag zurückgeführt. Insonderheit ist dies von Siau [30] geschehen, und wenn auch seine Erklärungsart nach Krümmel [31] und Bertholoy [32] auf Bedenken stösst, so führt doch des letzteren Schrift manche Belege dafür an, dass der Grund von der Wellenbewegung des Meeres in Mitleidenschaft gezogen wird. Auf die morphologische Bedeutung dieser Gebilde wird in Kap. II der siebenten Abteilung einzugehen sein.

Wenn wir die gigantischen Wellen hier ausnehmen, welche der Anziehung von Sonne und Mond ihre Entstehung verdanken, und welche eine ganz besondere Art der Betrachtung erheischen, so bleiben uns hier nur zwei Formen der Wellenbewegung als Objekte der Untersuchung übrig. Dies sind einmal die isolierten oder Einsiedlerwellen („Solitary Waves“ der Engländer) und die Windwellen. Da erstere nicht in Scharen auftreten, sondern „einsam“, ohne vorangehendes oder nachfolgendes Wellenthal, über das Meer wegziehen, so sind sie im Experimente verhältnismässig leichter nachzubilden. Um ihr Studium hat sich Scott Russell [33] entschiedene Verdienste erworben.

Jeder seitliche Stoss kann eine solche Welle erzeugen; man spricht deshalb auch wohl von Uebertragungswellen („onde de translation“). Würde bei jedem Erdbeben nur ein einmaliger Stoss zu verzeichnen sein, so würde man auch die seismischen Stosswellen, denen Krümmel [34] einen eigenen Abschnitt widmet, die aber in Kap. IV unserer dritten Abteilung bereits ihre Erledigung gefunden haben, hier einzurechnen haben. Die Orbitalbahn scheint gemäss den Versuchen von Caligny (s. o.) dann mit sehr grosser Regelmässigkeit zurückgelegt zu werden, wenn die Welle eine isolierte ist, und das ist auch leicht zu begreifen, da ja in diesem Falle keinerlei Störung durch nachdrängende Wassermassen möglich erscheint.

§. 2. **Windwellen.** Jedem ist bekannt, dass beim Wehen des Windes Wellen entstehen, allein der physikalische Vorgang, welcher da in Mitte liegt, kann kein ganz einfacher sein, weil sich sehr verschiedene Ansichten über dessen Wesen gegenüberstehen. Da die Bewegung der Luft, welche wir Wind nennen, eine translatorische ist (S. 439), wie kommt es, dass sich diese Bewegung, einer Flüssigkeitsmasse mitgeteilt, in eine undulatorische umsetzt [35]? Man möchte

zunächst vermuten, der Wind werde die oberflächlichen Wasserteilchen mit sich fortreissen, ihnen ebenfalls eine progressive Bewegung erteilen; dass das auch thatsächlich geschehen kann, wird sich in Kap. V herausstellen. Die Beobachtung lehrt, dass, sobald die Luft aus dem früheren Ruhezustande gebracht wird, sofort minimale Kreise, kapillare Kräuselungswellen nach Scott Russells (s. o.) Terminologie, sich bilden, welche sich stetig unter dem Einflusse der Luftströmungen verstärken. Hierauf hat die Erklärung somit ihr erstes Augenmerk zu richten.

Wenn Muncke [36] dadurch zum Ziele zu kommen hofft, dass er die Luftbewegung selbst als eine undulierende auffasst, so steht dieser Erklärungsversuch ebenso im Widerspruche zu den Grundgesetzen der dynamischen Meteorologie (Abt. V, Kap. VI), wie zu zahlreichen Erfahrungsthatsachen. Als Adhäsionserscheinung (adhaerere, äusserlich aneinanderhängen) interpretieren B. Franklin — in seiner in §. 5 zu erwähnenden Abhandlung — und, nach ihm, die beiden Weber [37] die Einwirkung der Luft auf das Wasser. Daran ist viel Wahres, und Krümmels Einwurf, die Bahnen der bewegten Luftteilchen träfen durchweg die Wasserfläche nicht unter dem sehr spitzen Winkel, den Franklin annimmt, wird nach Dechevrens' klinoanemoskopischen Beobachtungen (S. 72, 188) kaum aufrecht erhalten werden können. Allein die vibratorische Rhythmik bleibt auch jetzt noch unaufgeklärt. Ungleich näher kommt (s. o.) dem Ziele Scott Russell, der zuerst erkannte, dass der Wind keine Wellenbewegung auszulösen im stande wäre, wenn sich nicht an der Oberfläche einer jeden tropfbaren Flüssigkeit das sogenannte Flüssigkeitshäutchen bilden würde, eine ungemein — jedoch keineswegs unmessbar — dünne Schicht, welche durch eine gewisse Kraft, die Oberflächenspannung, als solche erhalten wird und jedem Körper, der in das Wasser eindringen will, einen gewissen Widerstand entgegensetzt. Dass eine solche Membran sich bilden muss, ist leicht einzusehen [38]. Auf jeden Punkt im Inneren der Flüssigkeit wirken Kohäsionskräfte (cohaerere, innerlich zusammenhängen) in unendlich grosser Anzahl, die sich, solange Gleichgewicht obwaltet, zu einer Resultante Null zusammensetzen; nur Punkte an der Oberfläche werden bloss von Kohäsionskräften angegriffen, welche als Radien einer unendlich kleinen Halbkugel, mit dem fraglichen Punkte als Zentrum, zu denken sind, und so fällt offenbar in diesem Falle die Resultante mit einer auf der Oberfläche senkrecht stehenden Geraden zusammen. Damit ist die Existenz der Oberflächenspannung gegeben, welche von der Natur der beiden durch jenes Niveau getrennten Stoffe, nicht aber von der Oberflächengestalt ihrer Grösse nach abhängig ist. Es war Poisson, der [39] die Kapillaritätstheorie (capillus, Haarröhrchen), welche bis dahin vorzugsweise nur das Phänomen des Aneinanderhaftens zweier fremdartiger Stoffe in Betracht gezogen hatte, in der angegebenen Weise erweiterte [40]. Nachher ist dann die Lehre vom Flüssigkeitshäutchen am konsequentesten durch den belgischen Physiker von der Mensbrugghe [41] weitergebildet worden.

Scott Russells oben erwähnter Name für die Elementarwellen ist nun gerechtfertigt, weil man es hier in der That mit Aeusserungen der Haarröhrchenkraft zu thun hat. Das Oberflächenhäutchen fehlt niemals; es wird vom Winde angegriffen und, weil es sich nicht zerreissen lässt, in Falten gelegt. Ganz schwache Winde bringen das nicht fertig; es bedarf dazu schon einer gewissen Windstärke, welche allerdings noch nicht zu bestimmen gelang [42]. Sind aber erst einmal die embryonalen Wellen, die sich der Fältelung der Oberflächenmembran anschmiegen, erzeugt, so ist die stetige Verstärkung, falls nur der Wind anhält, etwas selbstverständliches; letzterer vergrössert die Amplituden der Orbitalbahnen und damit die Wellenhöhen. Aelteren Bestrebungen, den Zusammenhang zwischen Windgeschwindigkeit und Wellenhöhe festzulegen, sind diejenigen von Coupvent des Bois [43], gefolgt, dem zufolge einer Sekundengeschwindigkeit des Windes von 5,1 m eine Wellenhöhe von 2 m entsprechen würde. Aus diesen Beobachtungen, denen noch andere von Antoine und Pâris beigesellt wurden, schöpfte Krümmel [44], indem er noch Köppens [45] absolute Werte für die Angaben der Beaufort-Skale (S. 74) heranzog, das Material zu nachstehender Tabelle:

Klasse des Seeganges	V	h Mittel	h Maximum	h Minimum	l : h Mittel	l : h Maximum	l : h Minimum
Sehr hohe See .	16	7,75	11,5	6,5	19,1	22,5	15,4
Hohe See . . .	13	5,05	7,5	3,5	21,0	23,0	15,0
Grobe See . . .	10	3,55	6,5	2,3	21,6	30,0	13,3
Hohe Dünung . .	8	4,10	7,0	3,0	29,3	48,6	18,4
Dünung	7	2,40	4,5	1,0	32,5	63,3	15,3
Leichter Seegang	6,8	1,60	4,0	0,8	38,7	80,0	21,6

Die Windgeschwindigkeit V (pro 1^s) und die Wellenhöhe h sind in Metern angegeben; l bedeutet, wie oben, die Wellenlänge.

Es sind hier, wie auch schon vorher, gewisse Kunstausdrücke für die Art und Stärke der Wellenbewegung gebraucht worden, die nunmehr eine Kennzeichnung erfordern. Neben dem Krümmelschen Werke kommt für die Definitionen namentlich das österreichische Handbuch [46] in Frage. Wenn sich Wellensysteme, die durch Windstoss ausgelöst wurden, über die weite Wasserfläche verbreiten, so sagt man, es sei ein — mehr oder minder hoher — Seegang vorhanden. Auch als Seen schlechtweg kennt die deutsche Seemannssprache die durch Wind hervorgerufenen Wellensysteme. Der Seegang kann sich auch in Regionen hinein fortsetzen, welche von der Gegend, innerhalb deren der erzeugende Wind wehte, weit genug entfernt sind, um ihn nicht mehr unmittelbar zu verspüren; die Wellen zeichnen sich dann durch ein exakt trochoidisches Profil (S. 441) aus, und ihre Gesamtheit nennt man Dünung (Schwell; engl. Swell; franz. houle). Bei recht sanfter Rundung der Wellenberge spricht man von toter oder ausgewachsener See [47]. Ueberschlagende See ist eine solche, die durch den Wind selbst, im Gegensatze zur Dünung, noch fortwährend Verstärkung erfährt. Bewirken mehrere, von verschiedenen Zentren ausgehende Wellensysteme bei gegenseitiger Berührung und Durchdringung einen unregelmässigen Seegang, so ist die Bezeichnung Kreuzsee, verworrene oder wilde See, bei starkem Auftürmen sich entgegenprallender Wogen Kabbelung. Die Muhrsee schreitet der herrschenden Luftströmung entgegen; die Widersee, auch Surf oder Sog genannt, bildet sich, wenn die Welle an einem festen Hindernis reflektiert wird. Je weniger frei, der Dünung ähnlich ein Wellensystem ist, je mehr es zu den von Airy (s. o.) als gezwungen gekennzeichneten Systemen gehört, um so eher ist ein Umkippen der Wellenberge zu konstatieren, welches auf eine lebhaftere Bewegung hindeutet, wie denn auch der Laie die weissen Wellenköpfe als Vorzeichen eines Sturmes anzusehen pflegt.

Auf den Seegang ist von entscheidendem Einflusse der Seeraum; kann auch ein sehr kräftiger Wind nur auf eine wenig ausgedehnte Fläche wirken, so hält sich die Aufrührung des Wassers in mässigen Grenzen. Der Scirocco (S. 210), welcher das ganze Adriatische Meer überweht, bringt zumeist einen energischeren Seegang zuwege, als dies dem von Hause aus weit intensiveren Fallwinde Bora (S. 111) möglich ist. — Bekannt ist die äusserst regelmässige Dünung in den Rossbreitenzonen (S. 198) beider Hemisphären [48]. Wenn in höheren Breiten, jenseits des 40. Parallels, heftige Orkane im Winter wehen, so merkt man von solcher Luftbewegung innerhalb jenes Gürtels nichts, aber majestätische „Roller“, die von NW her den Atlantischen Ozean durchfurchen, verraten jene Stürme gleich-

wohl [49]. — Auch in den pazifischen Monsungebieten (S. 312) ist, während der Wind aus bestimmter Richtung weht, die Dünung eine so konstante, dass, wie Hernsheim [50] näher beschreibt und oben schon bemerkt worden war (S. 358), die Segelanleitung (Medo) der Karolinen- und Marschall-Insulaner die Dünungsrichtung durch ein Stäbchensystem darstellen konnte. Man erinnere sich auch an das, was (S. 261) über die Leitmotive des Vogelfluges gesagt wurde. — In Nebenmeeren vermag sich die Dünung begreiflicherweise nicht frei zu entfalten, doch fehlt sie auch hier keineswegs. Aristoteles, der [51] das „Vorauseilen der Wellen vor dem Winde" wohl kannte, muss die Erscheinung doch wohl in dem ihm allein aus eigener Anschauung bekannten Aegäischen Meere wahrgenommen haben.

§. 3. **Die Dimensionen der Windwellen.** Die von verschiedenen Forschern für den Zusammenhang der einzelnen Bestimmungsstücke einer Welle — Wellenhöhe, Wellenlänge, Bewegungsgeschwindigkeit in der Orbitalbahn und in der Wellenfortpflanzung — ermittelten Formeln können, ein so hohes theoretisches Interesse ihnen auch zukommt, doch einstweilen nur als erste Annäherung an die meist sehr zusammengesetzte Wirklichkeit hingenommen werden. Die Beobachtung muss ergänzend eintreten, und in der That hat dieselbe auch, zumal bezüglich der Höhe der Meereswellen, sehr wichtige Ergebnisse geliefert.

Man täuscht sich sehr leicht über dieses Element; „haushohe" Wellen, wie sie das unentbehrliche Requisit vieler Reisebeschreibungen bilden, kommen auf hoher See kaum jemals vor. Hiefür hat namentlich Muncke [52] mehrere ältere Zeugnisse zusammengebracht. Pentland versichert [53], er habe in der Nähe des stürmischen Kaps Hoorn keine Woge höher als 6 m (20 engl. Fuss) gesehen, und Wilkes fand im Pazifik [54] zwar gelegentlich Wellen von 32 m (?) Höhe, aber doch nur als Ausnahme; die Maximalhöhen Scoresbys betrugen 13, diejenigen, welche Pâris mass, $11\frac{1}{2}$ m [55]. Wenn wir soeben sagten, ganz ungewöhnlich grosse Wellen seien vom freien Meere ausgeschlossen, so soll das heissen, dass sich derartige nur in der Nähe einer Steilküste (s. in §. 4) vorfinden; im übrigen geht aus dem, was über die Abhängigkeit der Wellenhöhe von der Wassertiefe in §. 1 beigebracht ward, hervor, dass die Höhendimension der Wellen in Nebenmeeren nicht so stark sich ausbilden kann, wie in den Ozeanen. Die von Bergman [56] gesammelten Daten, welche dem Baltischen und Mittelländischen Meere entnommen sind, lassen hierüber keinen Zweifel.

Leugnen kann man freilich nicht, dass die Methoden, die bei der Bestimmung der Wellenhöhe zur Anwendung kamen, bis in die neueste Zeit herein viel zu wünschen übrig liessen. Dem Rate Horners folgend, der anlässlich der von ihm mitgemachten Weltumseglung v. Krusensterns viele ozeanographische Beobachtungen anstellte [57], steigt man in den Wanten eines von den Wogen geschaukelten Schiffes so hoch hinauf [58], dass man über die Wellenkämme hinweg gerade den Horizont anzuvisieren vermag, wo dann die senkrechte Entfernung des Auges von der Wasserlinie des Schiffes der Wellenhöhe gleich sein muss. Aehnlich ist dem Prinzipe nach das Verfahren von Wilkes [59], welches jedoch nur dann anwendbar ist, wenn einem Schiffe ein zweites Schiff in gleicher Richtung, „in Kiellinie" nachfolgt. Besondere Messapparate haben die beiden Pâris, Vater und Sohn, konstruiert [60], doch lohnt die Sicherheit des Resultates wohl schwerlich die auf das Arbeiten mit diesen Instrumenten verwendete Mühe. Dagegen hat sich neuerdings das Aneroidbarometer (S. 57), wenn man es mit mikrometrischer Ablesvorrichtung versieht, als hinlänglich empfindlich erwiesen, um mit demselben genauere Höhenmessungen vornehmen zu können. Die Anregung ging von Neumayer aus [61]; in die Praxis hat G. Schott das Federbarometer eingeführt [62]. Im Indischen Ozean wurden so Wellenhöhen im Höchstbetrage von 9,8 m gemessen, während die gleichzeitige Schätzung den etwas grösseren Wert von 11 m geliefert hatte. Höhen über 15 m hält Schott auf offenem Meere für ganz unwahrscheinlich. Das von Gassenmayr während fünfmonatlicher Atlantik-Fahrten gefundene Maximum beläuft sich nach Schott [63] auf 7,5 m.

Die Wellenperiode τ bestimmt man dadurch [64], dass man mit einer Sekundenuhr die Zeiten notiert, in welchen die einzelnen Wellen-

kämme am Standorte des Beobachters vorbeipassieren. Die Wellenlänge l wird, falls sie kürzer als die Länge des die gleiche Richtung einhaltenden Schiffes ist, am besten durch zwei Beobachter, die sich durch Signale verständigen, am Schiffskörper eingezeichnet und nachträglich gemessen. Wenn jene Voraussetzung nicht zutrifft, so ermittelt man am besten die Fortschreitungsgeschwindigkeit c und nimmt $l = c\tau$. Wir setzten dabei das Fahrzeug als ruhend voraus; hat es aber eine eigene (konstante) Sekundengeschwindigkeit = v, und braucht die Welle t Sekunden, um eine zuvor abgesteckte Distanz l′ zurückzulegen, so gelten folgende Beziehungen:

$$c = l' : t \pm v, \quad l = t\,(c \pm v), \quad \tau = l : c.$$

Die Wellenböschung kann angenähert durch arc tang (2h : l) ausgedrückt werden; kurze Wellen sind also unter sonst gleichen Umständen stärker als längere geböscht.

Die österreichischen Ozeanographen nehmen als äusserste Grenzwerte, solange es sich nur um Windwellen handelt, $\tau = 24^s$, $l = 800$ m an [65]; selbst bei Sturmwellen sollen die Werte $\tau = 6^s$ bis 9^s, $l = 70$ m bis 140 m nur selten überschritten werden. Pâris gibt (s. o.) für verschiedene Meere folgende Mittelwerte von τ an: Passatregion des Atlantik $5{,}8^s$; Bereich der Westwinde über diesem Ozean 6,5; Indischer Ozean 7,6; Chinesische See 6,9; westlicher Teil des Pazifik 8,2. Eine Dünung, für welche $\tau = 23^s$ — dem obigen Extremwerte sehr nahe kommend —, $l = 824$ m — denselben ein wenig überschreitend — und $c = 35{,}8$ m waren, mass, nach Bertins [66] Zeugnis, Mottez in der Aequatorgegend des Atlantischen Ozeans. Eine von Pâris (s. o.) ausgearbeitete Zusammenstellung lehrt folgendes: „Die Wellen im offenen Ozean haben gewöhnlich eine Länge zwischen 60 und 140 m, durchschnittlich 90 bis 100 m; eine Geschwindigkeit von 11 bis 15 m in der Sekunde oder 20 bis 30 Seemeilen in der Stunde; eine Periode von 6 bis 10 Sekunden. Passatbrisen mässiger Intensität bringen Wellen hervor, deren l 35 bis 40 m, deren τ 4,5 bis 5 Sekunden, deren c endlich 7 bis 8 m (27 km in der Stunde) ausmacht.“ So hat es G. Schott (s. o.) gefunden, der auch einige interessante Messungen von Böschungswinkeln mitteilt. Bei hohem Seegange fand er für diese einen Mittelwert von 10 Grad, bei wenig bewegter See von 6 Grad.

§. 4. **Die Brandungswoge.** Es ist bekannt, dass in der Nähe des Ufers die Dimensionen der Wellen sich erheblich vergrössern; wenn man dabei auch zunächst an Steilküsten denkt, so wird sich doch bald zeigen, dass auch an mancher Flachküste die Brandung, d. h. das Emporsteigen des in wilde Bewegung geratenen Wassers ungewöhnliche Verhältnisse annimmt. Wir wollen mit Krümmel [67] dem Gegensatze der beiden Küstenformen in der Weise Rechnung tragen, dass wir Klippenbrandung von Strandbrandung unterscheiden. Die erstere ist die mehr in die Augen fallende, auf die sich z. B. auch die Beschreibung, welche v. Schweiger-Lerchenfeld [68] von dem Vorgange gibt, hauptsächlich bezieht.

Schon die Weberschen Versuche [69] mit der Wellenrinne lassen ersehen, dass die Zurückwerfung der Wellen von einer mehr oder weniger lotrecht aufsteigenden Wand eine beträchtliche Erhöhung des Kammes bedingt, die sich bis zum doppelten Betrage der ursprünglichen Höhe steigern kann. Die Widersee, von der wir in §. 2 gesprochen haben, bewirkt eine rasche und energische Rückströmung des an der Küste aufgehaltenen Wassers, und die daraus folgende Aufstauung muss, da das Wasser nach keiner anderen Seite hin ausweichen kann, dabei aber so gut wie inkompressibel ist, eine Auftürmung der neu herankommenden Wellen zur Folge haben. Die genauesten Beobachtungen über diesen Prozess hat man von Stevenson, der insbesondere auch festzustellen suchte, wie sich die Abnahme der Wassertiefe gestalten müsse, um ein Ueberkippen der Wellenkämme hervor-

zubringen [70]. Ihm zufolge steigt die Höhe der Klippenbrandung nahezu auf das Siebenfache der normalen Wellenhöhe an, wie denn auch bekanntlich die höchsten Leuchttürme Englands gelegentlich einmal, wenn die Brandungswoge zerstäubt, mit einem Sprühregen übergossen werden. Selbst der Turm von Eddystone bei Plymouth, dessen Leuchtfeuer sich 41 m über das Mittelwasser des Aermelmeeres erhebt, ist davon nicht ausgenommen. Und zwar ist es nicht nur der Gischt der zerstäubten Strahlen, der so bedeutende Höhen erreicht, sondern es ist das direkte Ansteigen zusammenhängender Strahlen 30 m über den mittleren Wasserstand gemessen worden.

Allerdings kommt häufig, wenn die Brandungswoge ein so aussergewöhnliches Mass von potentieller Energie besitzt, die sich dann bei der Ueberwindung von Hindernissen in aktuelle Energie — deren Mass eben die Höhe ist, bis zu welcher das Wasser hinaufgetrieben wird — umsetzen muss, noch ein weiteres physikalisches Moment in Betracht, auf welches gewöhnlich zu wenig Nachdruck gelegt wird. Wir ziehen es vor, dasselbe in §. 5 eigens für sich zu behandeln.

Um die Energie der Klippenbrandung auf absolutes Mass zurückzuführen, liess Stevenson [71] eine Maschinerie, das Wellendynamometer (δύναμις, Kraft) anfertigen, welche ein auch sonst mehrfach angewandtes dynamometrisches Prinzip für die grossen Kraftleistungen verwertet, wie sie hier in Betracht kommen. Eine Metallscheibe stellt sich den herankommenden Wellen so entgegen, dass sie von diesen mit voller Wucht getroffen wird; in dieser Lage wird die Scheibe durch eine kräftige Spiralfeder erhalten, während sie sich im übrigen, stets sich selbst parallel, in einer Kulissenführung bewegen kann. Um die Führungsstangen sind enge anschliessende, einer horizontalen Verschiebung aber immerhin fähige Lederringe gestreift, die dann, wenn die Platte nach innen getrieben wird, an dieser Bewegung teilnehmen. Der im Uferfels angeschraubte Apparat ist zumeist durch eine Schutzwand vor dem Wellenstosse gesichert; lässt man aber die Wand fallen, so treffen die Brandungswellen die federnd gehaltene Scheibe, drücken sie und die Lederringe nach einwärts, und nun gestattet die von den Ringen zurückgelegte Entfernung eine wirkliche Messung, weil zuvor empirisch festgestellt war, um wie viel ein solcher Ring durch einen Stoss von gegebener lebendiger Kraft ($\frac{1}{2} m v^2$; m Masse, v Geschwindigkeit) zurückgeschoben werden muss.

Wir werden von dem Maſse dieser Kraft einen deutlichen Begriff in Kap. II der siebenten Abteilung erhalten, wenn wir erfahren, dass durch die Abrasion der Brandungswoge ganze Gebirge von der Erdoberfläche weggespült werden können. Aus Stevensons Versuchen erhellt, dass diese Kraft, gemessen durch die Bewegungen der dynamometrischen Scheibe, rasch abnimmt, wenn man den Apparat tiefer unter dem gewöhnlichen Wasserspiegel und zugleich weiter vom Ufer entfernt anbringt [72]. Als Maximum horizontaler Druckkraft ergab sich — bei dem westschottischen Leuchtturme von Skerryvore — ein Stoss, der die Platte ebenso belastete, wie wenn nahezu 30 metrische Tonnen auf 1 qm Fläche drücken.

Wie erwähnt, treten auch beim Auflaufen der Wellen auf eine flach geneigte Küste Gestaltveränderungen derselben ein, und weiter zeigt sich, obschon die Sachlage hier doch eine völlig andere zu sein scheint, dass auch die Energie der Brandungswoge an flach ansteigendem Strande eine ganz beträchtliche werden kann. Auch diese Verhältnisse hat Hagen [73] zum Gegenstande eingehenden Studiums gemacht. Aufmerksam geworden war darauf bereits das griechische Altertum, aber erst durch die Erweiterung des geographischen Wissens überhaupt, welche die Kenntnis ungewöhnlich ausgeprägter Brandungs-

vorgänge mit sich brachten, erhielt die theoretische Forschung den Anreiz, sich mehr um eine sonst ziemlich alltägliche Erscheinung zu bekümmern.

Während es nicht sicher scheint, ob man auch schon dem Aristoteles Beschäftigung mit dem Vorgange zuschreiben dürfe, ist die Schilderung der anbrandenden und wieder zurücklaufenden Woge bei Strabon [74] eine sehr treue. Ein scharfer Beobachter muss ja auch erkennen, dass bei der Strandbrandung eine doppelte Veränderung des Wellenganges eintritt [75]: Die Kämme der Wellen ändern ihre Richtung, und das Wellenprofil ändert seine Gestalt. Da (S. 446) die Geschwindigkeit der Wellen in seichtem Wasser ungefähr der Quadratwurzel aus der Tiefe proportional ist, so muss sich auf der dem Ufer zugekehrten Seite der Wellen, da ja die Tiefe eine immer geringere wird, eine Verzögerung der Fortpflanzungsgeschwindigkeit ergeben, und die Kämme werden folglich um so mehr zurückgebogen erscheinen, je weiter die undulatorische Bewegung im seichten Uferwasser vorgedrungen ist. Während die Periode dieselbe bleibt verringert sich die Wellenlänge, vergrössert sich aber die Wellenhöhe derart, dass der Wasserberg nicht mehr seinen Zusammenhang zu bewahren vermag, sondern in der Bewegungsrichtung umkippt. Die Orbitalgeschwindigkeit nimmt mit wachsender Wellenhöhe und abnehmender Wassertiefe zu, so dass bei der Brandung selbst der mit dieser Geschwindigkeit selbst zunehmende mechanische Effekt besonders gross wird. Aeltere Ozeanographen wollten die auffällige Deformation der Brandungswelle wesentlich durch die Reibung erklären, welche die Welle am Boden aufhalte, während der Kamm einem solchen Hindernisse nicht begegne, dadurch ins Voraneilen und schliesslich zum Ueberstürzen komme. Dieser Umstand, sowie der weitere, dass der Orbitalbewegung bei ansteigendem Grunde allmählich der Spielraum fehle, wird z. B. von Muncke [76] angeführt, um die Verwandlung gerundeter Wellen in steile Wasserwände oder Brecher (franz. barres; engl. Breakers) verständlich zu machen. Vielleicht hat man, nachdem zumal durch Hagen (s. o.) eine schärfere Analyse der Vorgänge erreicht worden ist, den Einfluss der Bodenhindernisse wieder etwas zu gering veranschlagt. Alles in allem glauben wir nicht fehl zu gehen, wenn wir den Standpunkt unserer Einsicht in das Wesen der Brandungsbewegung in folgender Weise kennzeichnen:

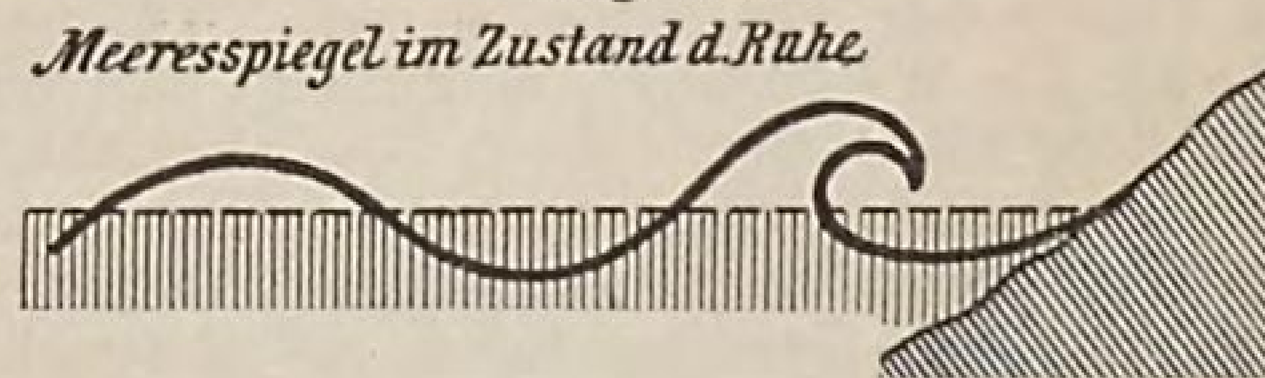
Klippen- und Strandbrandung sind zwei ihrer Natur nach völlig verschiedene Erscheinungen; erstere wird nur beobachtet, wenn der Wind mit einer gewissen Heftigkeit gegen das Land hin weht, wogegen an sanft gegen das Meer verlaufenden Küsten die Brandung niemals rastet. Natürlich ist aber auch sie bei lebhaftem Seewinde kräftiger als bei Windstille. Die Brandung an Flachküsten wird veranlasst durch die geometrischen Gestaltveränderungen der gewöhnlichen trochoidischen Wasserwellen, welche bei abnehmender Tiefe unvermeidlich sind; subsidiär trägt auch die von der Reibung am Grunde abhängige Verzögerung der Orbitalgeschwindigkeit in der unteren Wellenhälfte zur Brechung der Wellenköpfe bei.

Die obere Hälfte jeder Einzelwelle besitzt eine dem Lande zugekehrte, die untere eine vom Lande sich wegwendende Bewegungsrichtung. Letzterer folgend, treiben kleine und leichte Gegenstände, welche entweder schon lose dalagen oder durch den Anprall losgelöst wurden, in die See hinaus, und damit ist ausgesprochen, dass auch der Strandbrandung eine nicht ganz unansehnliche morphologische Bedeutung zukommt. Der Sog, wie man (vgl. S. 445) an der Ostsee die „saugende“ Wirkung der Rückströmung jeder anlaufenden Welle nennt, ist den Badenden wohlbekannt.

Strandbrandung wird überall da zu finden sein, wo flacher Strand das Festland oder eine Insel umsäumt. Nur ausnahmsweise, und zwar stets an Küsten, über welche ein starker Seewind (S. 196) hinweht, wird die Flachküstenbrandung so stark, dass sie ein unbequemes Verkehrshindernis bildet. In der Südsee sollen

solche Brandungen mehrfach auftreten [77], und auch der Surf (S. 445) an der Küste Koromandel ist bekannt. Alle diese Lokalformen treten jedoch zurück gegen die berüchtigte Kalema der Küste von Niederguinea, über welche uns die trefflich naturwahre Schilderung Pechuel-Lösches [78] orientiert hat. Hören wir seine eigenen Worte: „Eine Zone von entsprechender Tiefe durchlaufend, verwandelt sich jeder einkommende lange Wellenzug in einen vollständigen Roller, welcher sich im Heranstürmen immer steiler aufrichtet und, durch Reibung am Boden gehemmt, mit seinem vorauseilenden oberen Teile nach vornen wölbt, um endlich nahe am Strande in schönem Bogen überzufallen. Während eines Augenblickes gleicht die Masse einem flüssigen, durchscheinenden Tunnel; im nächsten bricht sie in gewaltigem Sturze donnernd und prasselnd zusammen. Dabei werden, wie bei Explosionen, durch die im Inneren eingepresste Luft Springstrahlen und blendende Wassergarben emporgetrieben; dann wälzt sich die schäumende, wirbelnde Flut am glatten Strande hinab, dem nächsten Roller entgegen.“ Fig. 94 gibt eine Profil-

Fig. 94.



zeichnung der normalen Kalema, welche in gewissem Sinne eine Jahresperiode aufweist, denn in der regenlosen Zeit kommt die Dünung wesentlich aus S und SW, die Küste unter dem für die Ausbildung der Flutwoge günstigsten Winkel treffend. Jene Dünung stammt wahrscheinlich aus dem Gebiete stürmischer Weste nicht ferne von der brasilischen Küste, aber den weiten Weg über den Atlantik legen die Wellen in nicht langer Zeit zurück; man hat konstatiert, dass noch in geringer Entfernung von der afrikanischen Küste die Wellenlänge 350 m (!) betrug. Die Wellenhöhe ist dem gegenüber gerade keine ausserordentliche, 4 m und wenig darüber; immerhin ereignet es sich, dass Vögel, welche ahnungslos über die Kalema wegfliegen, von dieser in ein nasses Grab herabgezogen werden. Uebrigens sind, obigem Gewährsmanne zufolge, starke, der Kalema ähnliche Strandbrandungen auch sonst in Südafrika bekannt; so habe 1879 General Wolseley drei Tage lang vergeblich in Port Durnford die Landung zu erzwingen versucht und zuletzt umkehren müssen. Fische und andere Seetiere, wie die häufig vorkommenden Delphine, scheinen die Gefahren des Wellensturzes wohl zu kennen und meiden ihn vollständig.

§. 5. **Sturmfluten und Seebären.** Ueber die sozusagen mittleren Dimensionen der Windwellen haben wir uns in §. 3 unterrichtet, und §. 4 fasste einen besonderen Grenzfall ins Auge, welcher zumal die Wellenhöhe erheblich zu steigern geeignet ist. Auf freier See ist es der Sturm, den Kap. VI, §. 12 nach seinen meteorologischen Bedingungen prüfte, der ein stärkeres Wachstum der Höhendimension bedingt. Aber ganz abgesehen davon, ist auch schon der gewöhnliche Windstau wohl im stande, gewaltige Gleichgewichtsstörungen der grossen Wassermassen hervorzubringen, die sich dann wieder in Wellenbewegungen umsetzen.

Abweichend von der gewöhnlichen Ausdrucksweise, welche mit dem Worte Sturm viel zu freigebig umgeht, will der richtige Seemann davon meistenteils nichts wissen, und behilft sich mit euphemistischen Bezeichnungen, wie „Steife See“, „Grobes Wetter“ u. dergl. selbst dann noch, wenn die Windstärke Ziffer 9 der Beaufort-Skale (S. 74) bereits erreicht oder überschritten hat. Auch das Wort Sturmflut ist also kein völlig bestimmtes; wir behelfen uns mit der immerhin ausreichenden Definition v. Sonklars [79]: „Unter den Sturmfluten versteht man jene heftigen Bewegungen des Meeres, welche durch Stürme erzeugt werden, und wobei die Wassermasse der See in Wogen von oft sehr grosser Höhe nach der Richtung des Windes zu treiben scheint.“ Gemeiniglich interessiert man sich für die Sturmfluten

wesentlich aus dem Grunde, weil sie — vgl. unten in Abt. VII, Kap. II — schwere Zerstörungen des Küstengeländes verursachen können; dieser Gesichtspunkt ist der vorherrschende bei den Ausführungen v. Sonklars selbst und auch in der lesenswerten Monographie von Eilker [80] über die in der Nordsee besonders häufigen Sturmfluten. Diesen letzteren hat als Meteorologe Hennig [81] sein Augenmerk zugewendet, indem er u. a. wissenschaftlich bestätigen konnte, dass der alte friesische Volksglaube, Ende Dezember und Anfang Januar seien die gefahrbringendsten Jahresabschnitte, einige Wahrheit in sich schliesst. Gerade im Januar — die erste Pentade dieses Monates unterliegt etwa dem gleichen Risiko, wie die fünfte — durchziehen viele tiefe Depressionen das Deutsche Meer auf dem als Zugstrasse IVb (vgl. Fig. 49a) van Bebbers bekannten Wege, und da sich nach dem barischen Windgesetze an diese Wirbel zuerst Sturm aus SW, dann aber, wenn das Wirbelzentrum weiter fortgeschritten ist, aus NW knüpft, so sind um diese Zeit unsere Nordseeküsten besonders stark bedroht.

Den Standpunkt des Ozeanographen wahren die Arbeiten von Lentz [82] und Nehls [83], welch letzterer als Wasserbaudirektor der Freien Stadt Hamburg auf die Eingriffe der Nordsee ein wachsames Auge zu richten verpflichtet war. Ersterer hat, wohl zuerst, die Bedeutung der Thatsache ins richtige Licht gerückt, dass Sturmfluten gewöhnlich nicht unversehens losbrechen, dass sie vielmehr durch längeres Wehen des Windes aus konstanter Richtung prädisponiert erscheinen [84]. Unter normalen Umständen bildet der Spiegel der Ostsee z. B. keine ganz horizontale, sondern eine schräg gegen E ansteigende Fläche, weil Westwinde die Regel bilden. Das Mittelwasser bei Pillau und Memel weist oft durch lange Zeit einen höheren Stand als dasjenige von Kiel auf; eine anscheinende Anomalie, die aber durch die herrschende Windrichtung genugsam erklärt wird und sich auch verliert, wenn einmal zeitweise die Luftströmungen aus E kommen. Zöppritz charakterisiert [85] diese Niveaustörung als Windstau; es ist damit nicht etwa eine stetige Bewegung des Oberflächenwassers gegeben, sondern eine solche würde erst bei kontinuierlichem Andauern des Stauprozesses durch lange Zeiträume eintreten. Vielmehr findet die Verschiebung auch selbst der zunächst an der Oberfläche befindlichen Wasserteilchen nur „in unstetiger, zusammenhangsloser Weise“ statt, und Umkippungen der Wellenkämme sind bei nur etwas stärkerem Winde unumgänglich. „Bei solchen lokalen Lösungen des Zusammenhanges können aber leicht zwischen und unter den vorgeschobenen Massen rückläufige Ausgleichsströmungen entstehen, so dass also, wenn die Stauhöhe ihre Maximalgrenze erreicht hat, der ganze Vorgang des Verschiebens der Oberflächenteilchen und des ausgleichenden Rückflusses gleicher Wassermengen innerhalb einer sehr dünnen oberflächlichen Schicht in unstetiger Weise stattfände, während die tiefer gelegenen Schichten ganz in Ruhe bleiben.“

Man kann, wenn es im Einzelfalle möglich ist, das Fortschreiten einer Sturmflut durch ein grösseres Meeresbecken hindurch zu verfolgen, auch das stete Wachstum der mechanischen Leistungsfähigkeit des vom Orkane gepeitschten Wassers kontrollieren, welches sich in der Aufwühlung immer höherer Wellen äussert. Einem Stevenson-Coldingschen Erfahrungssatze gemäss [86] gilt folgendes: Sind a_1 und a_2 die Entfernungen der Wellenorte von der Küste, in deren Nähe der Sturm entstand, h_1 und h_2 die entsprechenden Wellenhöhen, so gilt die Proportion $a_1 : a_2 = h_1^2 : h_2^2$. So kann man sich nicht wundern, dass bei dem von Lentz [87] angeführten Beispiele, als ein heftiger Sturm von der livländischen Küste her über den freien baltischen Seeraum (S. 445) hinwegfegte, das Wasser der westlichen Ostsee ebenso in hohen Wellen aufbäumte, wie es im östlichen Teile, über welchen der Sturm hinweggegangen war, ins Sinken geriet. Am Mittage des 13. November 1872 fiel das Niveau bei Memel um 42 cm unter seinen mittleren Stand, nachdem es kurz zuvor denselben um 32 cm überhöht hatte.

Der Windstau braucht nicht einmal besonders kräftig zu sein, um das Ausströmen eines Flusses ins Meer zu erschweren. Zöppritz (s. o.) sah einmal, dass das Wasser des Pregels in Königsberg i. Pr., welche Stadt doch noch ein gutes Stück von der Mündung entfernt ist, mit einer Sekundengeschwindigkeit von mehr als 1 m stromaufwärts floss. Bei der vorgenannten Sturmflut des Jahres 1872 wurde am Lübecker Pegel eine Höhe von 3,38 m notiert, während in dem langen Zeitraume von 1625 an keine Sturmflut das Wasser der Trave höher als 2 m anzustauen vermocht hatte. Nehls (s. o.) mahnt die Beobachter solcher Orte, welche am Aestuarium eines den Gezeitenwirkungen (s. u. in § 12) ausgesetzten Flusses

gelegen sind, ja nicht Gezeitenflut und Windflut zu verwechseln; beide können sich mannigfach kombinieren, sich wechselseitig beeinträchtigen und sich summieren. Einmal drang die Windflut von Kuxhaven nach Hamburg in einer Zeit vor, die um 1^h kürzer als die übliche Zeit der Gezeitenwelle war, und bewirkte ein kontinuierliches Aufsteigen des Elbewassers, welches $16^h\ 40^m$ währte und dieses zu dem unerhörten Pegelstande von 4,42 m hinauftrieb. Und am höchsten stand das Stauwasser gerade in dem Zeitpunkte, als, wäre alles wie gewöhnlich gegangen, der tiefste Ebbestand eingetreten sein würde.

Die Sturmflut erschöpft sich in einmaligem Anstiege; periodische Schwankungen sind der Regel nach ausgeschlossen. Allein neuerdings sind doch auch grundsätzlich verschiedene Fluterscheinungen bekannt geworden, die sich von den bislang betrachteten gar nicht unwesentlich unterscheiden. Erstens nämlich ergeben sich mitunter sehr energische Seespiegelschwankungen auch ohne gleichzeitiges Wehen heftiger Stürme, und zweitens sind diese Schwankungen periodisch, so dass sie, mit abnehmender Intensität natürlich, mehrfach wiederkehren. Die Bewohner der mecklenburgisch-pommerischen Küste haben für solche Phänomene die Bezeichnung Seebär, den sich auch die physikalische Erdkunde angeeignet hat. R. Credner [88] und F. G. Hahn [89] machten die wissenschaftliche Welt mit der früher nur im engeren Bereiche des Küstenlandes beachteten Erscheinung näher bekannt.

Das sonderbare Wort hat natürlich keine Beziehung zu dem gleichnamigen Tiere, sondern ist eine Verstümmelung des niederdeutschen Bahre (= Woge). Von dem Lexikographen Sanders [90] wird dies des näheren erläutert und auch auf das Zeitwort „barnen" (= branden, zusammenhängend mit brennen) hingewiesen. Gegen die Mitte des XVII. Jahrhunderts war ein Gesangbuch von Heermann verbreitet, in welchem nachstehender Vers eines Seemannsliedes vorkommt: „Viel Angst hab' ich erfahren auf dem erzürnten Meer, das so viel stolze Bahren warf grausamlich einher." Thebesius [91] und Boll [92] thaten schon früher der Sache und ihrer Regionalbezeichnung Erwähnung; ersterer sah in solch plötzlichen Sturmfluten „unterseeische Gewitter", wie sie überhaupt in der Ostsee heimisch sein sollten; der gewiegte Naturforscher Boll dachte verständiger an „sekundäre Erdbebenphänome". Letztere Deutung schien auch Krümmel [93] eine diskutable zu sein, und wirklich wäre sie nicht von der Hand zu weisen, wenn nicht auch „Seebären" beobachtet worden wären, ohne dass weitum ein Erdstoss stattgehabt hätte. Ackermann, der den „Seebär" als „eine plötzlich auftauchende, mauergleich einherschreitende Flutwoge definiert [94], bemerkt, dass an der hinterpommerischen Küste vier einschlägige Beobachtungen gemacht worden seien, und dass man auch gewisse Nachrichten von Jütland, Helgoland, Holland und Südengland nur in gleichem Sinne auslegen könne. Ein „Seebär" trat auch am 1. November 1755 im Hafen von Lübeck auf [95], und in diesem Falle wäre wohl die Möglichkeit seismischer Auslösung zuzugeben, denn einmal war ja (I, S. 447) der Schütterbezirk der Erderschütterung von Lissabon ungemein gross, und zweitens können zwei Naturerscheinungen sich täuschend gleichen, ohne dass doch deren Entstehungsursache notwendig die nämliche zu sein brauchte. Ganz sicher gehört hierher ein Erlebnis, welches Briancourt auf der Ostseeinsel Dagö (westlich von Reval) hatte [96]; zweimal drang eine mächtige Woge in den Bach Kartel ein und bewirkte ganz ungewöhnliche Aufstauungen desselben von bezüglich 20 und 15 Minuten Dauer mit eingeschobener Ruhezeit von 6 Minuten. Gleichzeitig brauste allerdings auch ein Sturm über die Insel, aber unbedingt erforderlich ist diese Begleiterscheinung nicht; betont doch auch Bannasch [97], dass die Pregel-Anstauung (S. 451) nicht selten bei Windstille ihren Anfang nimmt, allerdings ein prognostisches Anzeichen dafür, dass nun bald der Nordwind einsetzen werde, welcher das stauende Meerwasser herangetrieben hat. Vor allem aber war bei dem von Credner beschriebenen Vorkommnis das Meer ruhig, die Brise schwach, und doch erreichte die Flutwelle stellenweise 2 m über Mittelwasser; nicht alle Küstenorte waren gleichmässig betroffen worden. — Die Hahnsche Abhandlung ist besonders deshalb bemerkenswert, weil sie die Frage

prüft, ob mit den „Seebären" Schallphänomene nach Art derjenigen Hand in Hand gehen, deren wir früher (Kap. I, §. 15) zusammenhängend gedacht haben. Dass ungewöhnliche Geräusche von glaubwürdigen Zeugen gehört wurden, scheint gewiss [98], und von Hahn [99] werden dieselben als Wirkungen lokaler Temperatur- und Druckstörungen aufgefasst. Das ist wohl zuzugeben, wenn man der Ansicht huldigt, dass der Ursprung der Seebärenflut ein meteorologisches Gepräge trägt. Hierüber aber wird erst in §. 7 die Entscheidung zu treffen sein.

Unentschieden muss auch bleiben, ob die asturische Resaca und der sizilianische Marrobbio den „Seebären" zuzurechnen sind oder nicht. Die Resaca besteht nach Krümmel [100] in einem — oft bedenkliche Amplituden aufweisenden — „Hin- und Herschieben der Wassermassen mit unbedeutender Niveauveränderung". Die genaueren Nachrichten über den Marrobbio („mar rubro", weil die Meeresfläche durch Aufwühlung des Grundes sich rötlich färbt), verdankt man Th. Fischer [101]. Bei ruhiger Luft, die jedoch dunstig und bleiern erscheint, tritt das Meer, gewöhlich rasch hinter einander mehrmals, über seine Ufer; nur in Flussmündungen betrug die Erhebung 1 m, sonst blieb sie darunter. Es scheint nicht, dass diese abrupte Gleichgewichtsstörung, die zwischen Trapani und Mazzara ihren Tummelplatz hat, irgendwie vulkanisch oder seismisch beeinflusst ist; wohl aber ist anscheinend eine gewisse Wetterlage (Scirocco in Sicht) die Vorbedingung ihres Eintretens.

§. 6. **Künstliche Beruhigung der Wellen.** Es wurde bereits betont, dass Stürme und Sturmfluten den auf hoher See sich sicher fühlenden Schiffer wenig schrecken, und dass die Ausbildung des Sturmwarnungswesens (Abt. V, Kap. X, §. 4) die Aufsuchung des Nothafens sehr erleichtert hat. Nur dann, wenn ein Fahrzeug, während schon die Wogen hoch gehen, den Hafen anlaufen will, können ernste Gefahren entstehen, und diesen sucht man in der Neuzeit dadurch zu begegnen, dass man durch Oel oder andere passende Flüssigkeiten die Wellen glättet. Dem Altertum war dieses Auskunftsmittel nicht ganz fremd, aber erst seit Franklin [102] hat es die verdiente Beachtung gefunden, und seit zwei Jahrzehnten hat man sich einerseits eben so eifrig der praktischen Ausgestaltung des Verfahrens hingegeben, wie man sich andererseits durch dasselbe zu wichtigen theoretischen Studien, insbesondere auf dem Gebiete der Molekularphysik, anregen liess.

Virlet d'Aoust berichtet [103], dass man Andeutungen über das Oelen der See bei Aristoteles, Plinius und Plutarch begegne, und bei dem byzantinischen Schriftsteller Theophylaktos Simokattes, der eine wunderliche Schrift über physikalische Fragen kompilierte [104], soll der Satz zu finden sein [105]: „Ich habe sagen hören, dass die Schiffer, um Wind- und Meeresstille herbeizuführen, Oel in das Meer giessen." Nach Virlet d'Aoust kommt es an Orten, in deren Nähe Petroleumquellen sich in das Meer ergiessen, kaum zu leichtem Wellengekräusel; speziell der Isthmus von Tehuantepec und die Umgegend der russischen Stadt Asow werden namhaft gemacht. Man wusste auch von je, dass Eingiessen von Oel das vorher unklare Meer durchsichtig macht, so dass diejenigen von dem Mittel Gebrauch machten, welche einen verloren gegangenen Anker aufholen wollten [106]. Wie erwähnt, stellte zuerst der amerikanische Physiker Franklin systematische Versuche an; massgebend für ihn war die ihm zugekommene Nachricht gewesen, dass Austernfischer sich auf diese Art ihr mühseliges Gewerbe erleichtert hätten. In der That ergab sich, dass, wenn eine segelnde Barke in kontinuierlichem Strome Oel auf das brandende Wasser fliessen liess, mitten im Wogengetriebe eine beruhigte Fläche sich herausbildete, innerhalb deren sich längere Zeit die bekannten Kapillarkräuselungen (S. 444) nicht mehr bilden konnten. Lelyveld vertrat [107] die beruhigende Kraft des Oeles, welche Frisi [108] in Zweifel gezogen hatte, durch verschiedene Belege, wie dies seinerseits auch C. E. M. Richter [109] that, und Muncke [110] war bereits eine grössere Reihe von Autoren anzuführen in der Lage, welche zu Ende des XVIII.

und zu Anfang des XIX. Jahrhunderts sich in theoretische Spekulationen über die kalmierende Wirkung schwerflüssiger Stoffe eingelassen hatten. Wenn Aristoteles und Plutarch [111] der Meinung waren, der Wind gleite von der Oelhaut ab, so befanden sie sich gar nicht so entfernt vom Richtigen, denn auch Franklin und die beiden Weber, von denen eine umfassende, mit allen möglichen Arten von Oel durchgeführte Versuchsreihe herrührt [112], kamen gleichfalls zu dem Schlusse, der Wind finde es minder leicht, die rasch gebildete Oelschicht in Falten zu legen und so Kapillarwellen zu erzeugen, als ihm dies bei der — vermeintlich (s. u.) — minder zähen, natürlichen Wasserhaut (S. 444) gelingt. Uebrigens kommt nicht allein zähflüssigen Materien eine solche Kraft zu, sondern nach Scoresby [113] kann auch durch Tang, Schlamm, zermalmtes Eis eine ähnliche Aktion eingeleitet werden, und insbesondere nahm der berühmte Nordpolfahrer wahr, wie bei Beginn des Gefrierprozesses, der die innere Reibung befördert und die Bethätigung der vorhandenen lebendigen Kraft nach aussen hindert, mächtige Dünungen verflachten. Der Umstand, dass im Bereiche des Sargassomeeres (S. 390) es nicht zu kräftigem Wellenschlage kommen will, dürfte sich ganz ebenso erklären lassen.

Die neuere Zeit hat die Litteratur über ein so wichtiges Erleichterungsmittel der Schiffahrt bedeutend anschwellen lassen. Die belgischen Physiker Plateau [114] und van der Mensbrugghe [115] (S. 444), welch ersterer bei dieser Gelegenheit in eine Auseinandersetzung mit der teilweise abweichenden Ansicht Marangonis [116] eintrat, wandten, wie zu erwarten, die neue Lehre von der Oberflächenspannung auf den hier vorliegenden Fall an. Zunächst für die praktischen Bedürfnisse der Schiffahrt sind die von der deutschen Admiralität herausgegebene Schrift [117], sowie die mehr oder minder eingehenden Monographien von Cloué [118], Rottok [119], Karlowa [120], Raineri [121], M. M. Richter [122] und D'Alessandro [123] berechnet; letzterer spricht sich zu gunsten flacher, vor der Hafeneinfahrt im Schwimmen erhaltener Netze aus, durch welche der Zweck, den Brandungswogen ihre Kraft zu nehmen, noch sicherer als durch Oel erreicht werden soll. Ein reiches Material verwertet das Buch von J. Grossmann [124], welches namentlich auch über zahlreiche Versuche auf Binnengewässern zu berichten weiss, während vorher, wie es scheint, einzig Halle [125] ein Beispiel vom Ladoga-See, nach russischer Quelle, mitgeteilt hatte. Seinen auf Donau und Boden-See angestellten Beobachtungen glaubt Grossmann [126] die Thatsache entnehmen zu dürfen, dass der Oelaufguss die Form der Wellen verändere, die Orbitalbahnen (S. 440) in langgestreckte Ellipsen umwandle. Auch er schreibt der vermeintlich vergrösserten Oberflächenspannung den entscheidenden Einfluss zu, allein aus den für den Betrag der Spannung von Quincke [127] ermittelten Zahlen folgt, dass diese Kraft, wenn sich Oel und Luft berühren, nicht so gross ist, als wenn Wasser und Luft in Kontakt stehen. Die Rolle der Oberflächenspannung ist durch Koeppens Versuche in einem anderen Sinne geklärt worden; Oel breitet sich danach [128] um so bereitwilliger auf einer Fläche reinen Wassers aus, je geringer die Summe der Spannungen an der oberen und unteren Grenzfläche des Oeles ist. Die Theorie van der Mensbrugghes (s. o.), dass nämlich die potentielle Energie der Wellen zur Verstärkung der Oberflächenspannung verwendet und dadurch ein Teil der aktuellen Wellenenergie sozusagen latent werden sollte, glaubt Koeppen nicht billigen zu können [129]; mehr sagt ihm die Anschauung P. Du Bois-Reymonds [130] zu, der den kleinen Kräuselwellen scharfe Kanten zuschreibt und eine Glättung dieser Kanten durch den Stoss der sich ausbreitenden Oelmasse für wahrscheinlich erachtet. H. v. Helmholtz [131] hat die Bedingungen, unter welchen die sonst gerundete Welle Unstetigkeitsstellen erhält, näher formuliert. Es stehen sich also, wenn man näher zusieht, wesentlich drei verschiedene Auffassungen des in seiner Realität heute unwidersprochenen Vorganges gegenüber.

Die älteste, selbst wieder in den Einzelheiten mannigfach variierende, geht dahin, dass die dünne Oelschicht die Berührung des Wassers und der bewegten Luft hintanhält, die Entstehung von Embryonalwellen a priori erschwert. Späterhin hat man unter der Einwirkung der neu entstandenen Lehre von der Oberflächenspannung, vermutet, die schon gebildeten Wellen müssten sich des grössten Teiles der in ihnen aufgespeicherten lebendigen Kraft entäussern, um jene Spannung zu verstärken;

plausibler ist jedoch, sich die Rolle, welche die Kohäsion spielt, in der Weise zurechtzulegen, dass die Oberflächenspannung vermindert und gleichzeitig die — mit ersterer durchaus nicht zu verwechselnde — Oberflächenzähigkeit erhöht wird. Daneben aber ist auch noch die Ansicht vollster Beachtung wert, welche der Bewegung der zerfliessenden Oeltropfen eine aktive Bedeutung zuerkennt, indem durch diese die scharfkantigen Elementarwellen nivelliert werden, ehe sie noch gefahrbringende Dimensionen angenommen haben. Bis zu endgültiger Entscheidung der Frage, auf welcher Seite die beste Anpassung an die Natur sich findet, oder ob vielleicht eine ganze Reihe verschiedenartiger Umstände zusammenwirkt, um den bekannten Effekt zu erzielen, wird es noch vieler weiterer Studien bedürfen.

Jedenfalls hat Koeppen aus seiner umfassenden Untersuchung eine Folgerung von hohem praktischem Werte gezogen [132]: Seifenwasser besorgt die Beruhigung erregter Wellen mit noch grösserer Zuverlässigkeit, als dies einer der bisher in Gebrauch genommenen Oelsorten gelingt. Petroleum ist wenig wirksam, auch Speiseöle empfehlen sich schlecht, während Lampen-, Lein- und Terpentinöl, auch guter Fischthran, den Zweck besser erfüllen. Zwar haben Versuche, welche von sechs Schiffen in verschiedenen Meeren angestellt wurden, den Vorzug des Seifenwassers vor Oel nicht durchweg bestätigt [133], aber eine neuere Untersuchung von Koeppen [134] stellt aufs neue fest, dass Lösungen von 2 bis 10 % Seife in süssem Wasser für die Ausebnung der Kapillarwellen (S. 444), welche als Keim der schlimmen Brandungswogen anzusehen sind, sich mindestens ebenso geeignet wie gute Oele erweisen.

Es versteht sich von selbst, dass die Dicke der Oelschicht, welche sich auf der vorher bewegten Wasserfläche abgelagert hat, nur eine ganz minimale sein kann. Plateau [135] fand auf optischem Wege, mit Hilfe der Newtonschen Farbenringe (S. 100), diese Dicke, die wir d nennen wollen, gleich 113,5 $\mu\mu$ (I, S. 604); Sohncke [136] bediente sich einer anderen Farbenerscheinung, indem er den Moment festzuhalten suchte, in welchem die Oelscheibe, unmittelbar vor dem Zerreissen, ein gleichmässiges, grau-bläuliches Kolorit annimmt, und nun den Scheibendurchmesser mass. Diese Pigmentierung soll nämlich einer allenthalben gleichen Dicke des Häutchens entsprechen. Für Olivenölscheiben wurde so $d = 111,5$ ($\pm$ 7,04) $\mu\mu$, für Rübölscheibchen wurde $d = 93,6$ ($\pm$ 6,82) $\mu\mu$ gefunden. Namhaft kleinere Werte von d ermittelten Lord Rayleigh [137] und Röntgen [138], wogegen Drude [139] und Oberbeck [140], welch letzterer auch auf der Meeresfläche experimentierte, die Zahlen wieder etwas steigerten; wenn $d > 18$ $\mu\mu$ wird, verteilt sich nach Oberbeck das Oel nicht mehr gleichmässig auf dem Wasser. Die durch Koeppen (s. o.) als mindestens gleich wichtig für die nautische Praxis erkannten Seifenwasserhäutchen waren schon früher durch Reynolds und Rücker in theoretische Behandlung genommen worden [141]; je nachdem die Seifenlösung salzhaltig war oder nicht, fand sich $d = 12$ oder 22 $\mu\mu$. Alle diese Verfahrungsweisen hat K. T. Fischer [142] einer dankenswerten kritischen Ueberprüfung unterzogen, welche statt des Wassers auch das Quecksilber als passive Flüssigkeit in Betracht nahm, und ist zu dem Resultate gelangt [143], dass, wenn die verschiedenen vorgenannten Forscher nicht übereinstimmende Zahlen herausbrachten, dies kein Vorurteil gegen die Richtigkeit der Zahlen zu erwecken braucht. Es wurden nur eben Oelscheiben in verschiedenen Entwickelungsstadien der Messung unterstellt.

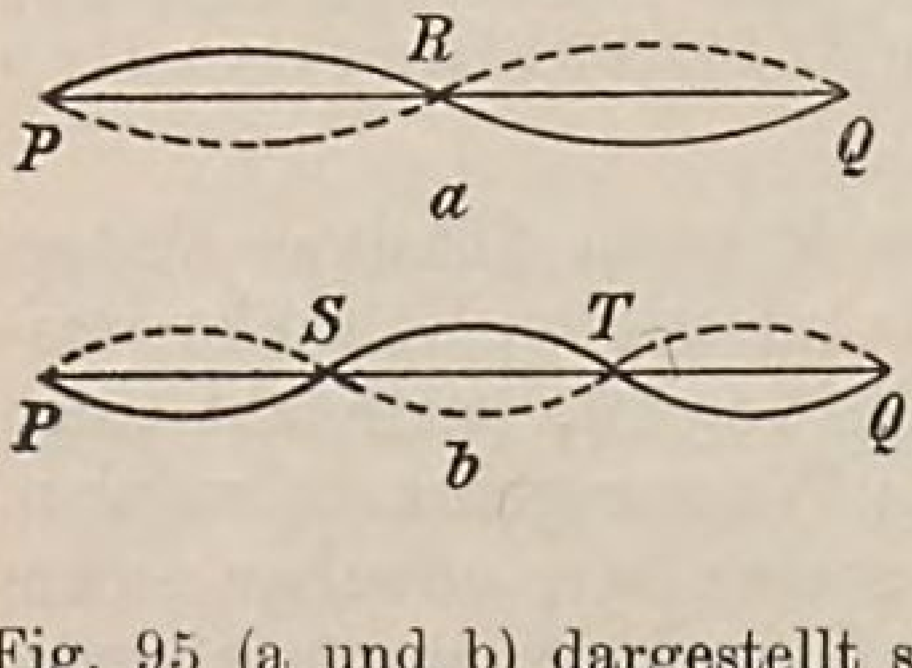
Vergleichen wir die immerhin minimalen Mengen flüssigen Fettes, welche aus einem an Bugspriet oder Spieren befestigten Oelsacke ausfliessen oder durch automatisch wirkende Oelboyen, vielleicht auch durch Oelbomben und Oelraketen auf das Wasser gebracht werden, mit der ungeheuren Fläche des Meeres, so stehen wir offenbar einem ähnlichen Verhältnis gegenüber, wie wenn der Experimentator mit einem Oeltropfen auf einem Wasserbecken operiert. Die rapide Ausbreitung

des Oeles, deren erste geschichtliche Erwähnung man bei dem indischen Mathematiker Bhâskara Acharya nachweisen kann [144], sorgt dafür, dass jeder Flächenraum beliebiger Grösse von einem Tröpfchen getroffen wird. Die kalmierende Schicht von Oel oder Seifenwasser, deren Aktion sich nach unserem heutigen Wissensstande nicht mehr bezweifeln lässt, ist aber unter allen Umständen von so geringer Dicke, dass dieselbe noch wesentlich hinter der — doch auch in Mikrons auszudrückenden — Wanddicke der Seifenblasen zurückbleibt.

§. 7. **Stehende Wasserwellen oder Seiches.** Als die Wellenlehre noch in ihren Kinderschuhen stand, glaubte man, dass zwei einander begegnende Wellen ihren Weg ruhig fortsetzten, ohne sich irgendwie gegenseitig zu stören, wie dies in dem seiner Zeit fundamentalen Werke von s'Gravesande bestimmt ausgesprochen wird [145]. Erst Thomas Young, dessen einschlägige Verdienste Whewell [146] sehr sorgfältig darlegt, formulierte, wenn auch einstweilen auf die Optik beschränkt, den Begriff der Interferenz zweier Wellen [147]. Immerhin hatte schon Lionardo da Vinci (S. 439) auf die eigentümlichen vibratorischen Bewegungen eines Seiles aufmerksam gemacht, welches mit dem einen Ende befestigt ist, am anderen aber auf- und niedergeschwungen wird, und die Gebrüder Weber [148] machten auf Grund ihrer Experimente einen grundsätzlichen Unterschied zwischen fortschreitenden und stehenden Wellen, welch letztere entstehen müssen, wenn eine ursprüngliche und eine reflektierte Welle interferieren. Es bilden sich dann Bäuche und Knoten, wie sie uns zunächst aus der Akustik bekannt sind, wie sie aber auch in der freien Natur vorkommen.

Jeder Musiker kennt die Flageolet- oder Flötentöne der Violine, welche der geübte Spieler hervorbringen kann, wenn er an gewisse Stellen der Saite zwischen Wirbel und Geigensteg den Finger leise anlegt, ohne wie sonst ihn aufzudrücken. Während die Saite schwingt, verbleiben diese Stellen in Ruhe; ein auf sie gesetztes Papierreiterchen bleibt beim Anstreichen ruhig sitzen, während es anderswo sofort herabfällt, wenn der Bogen auch nur sanft die Saite berührt. Denken wir uns statt der Saite eine Flüssigkeitsmasse, innerhalb deren eine Welle erzeugt wird, so ist leicht einzusehen, dass, wenn dieselbe am Ufer eine Zurückwerfung erfahren hat, der primäre und der nunmehr neu geschaffene sekundäre Wellenzug sich durchkreuzen müssen. Ob die dadurch entstehende stehende Welle auch wirklich immer in die Erscheinung tritt, steht bei den mancherlei Hindernissen, die sich einstellen können, dahin; zahlreiche Beobachtungen aber lassen darüber keinen Zweifel, dass vielfach, stets aber nur in mehr oder minder geschlossenen Wasserbecken, stehende Wasserwellen zu den alltäglichen Vorkommnissen gehören. Am Ufer hebt und senkt sich der Wasserspiegel alternierend, und wenn man die beiden Uferpunkte, für welche diese vertikalen Schwankungen konstatiert sind, durch eine Oberflächenlinie verbindet, so findet man auf dieser einen Punkt oder auch mehrere Punkte, in deren nächster Umgebung das Wasser bewegungslos ist. Dies sind die Knotenpunkte. An und für sich kann die stehende Schwingung — wie wir es bei einer Violinsaite sahen — plurinodal (plures, mehrere; nodus, Knoten) sein, aber die Geophysik hat einstweilen noch keinen Anlass gehabt, sich mit anderen als mit uninodalen (einknotigen) und binodalen (zweiknotigen) Oszillationen zu befassen, wie solche in Fig. 95 (a und b) dargestellt sind. P und Q sind beide Male die sich gegenüber liegenden Uferstellen; die Knotenpunkte R (Fig. 95a), sowie S und T (Fig. 95b)

Fig. 95a und b.



liegen bezüglich so, dass PR = RQ, PS = ST = TQ wird. Einknotige Wellen bedingen, dass bei P und Q der Bewegungssinn des Wassers der entgegengesetzte ist, während Schwingungen mit zwei — allgemein mit einer geraden Anzahl von — Knoten sich dadurch zu erkennen geben, dass synchron mit einer Hebung und Senkung bei P auch eine Hebung und Senkung bei Q eintritt. Solche Spiegelschwankungen markieren sich vielfach schon am gewöhnlichen Pegel, doch ist für wissenschaftliche Beobachtungen der S. 383 erwähnte Forel-Sarasinsche Selbstaufzeichner vorzuziehen, dessen Diagrammen eben die Erkenntnis zu verdanken ist [149], dass binodale Oszillationen in Wirklichkeit vorkommen.

Auf dem freien Meere wird, angesichts der grossen Entfernungen, welche zwischen zwei Festlandrändern liegen, an das Auftreten stehender Wellen nur in Ausnahmefällen gedacht werden können; in §. 8 wird immerhin wenigstens die Möglichkeit einer derartigen Schwingung aufgezeigt, für welche PQ (Fig. 95) ozeanische Breite besässe. In Nebenmeeren und Sunden kann sich jedoch die Erscheinung sehr wohl offenbaren. Wir haben schon früher die — seitdem auch von Supan [150] gebilligte — Ansicht vertreten [151], dass die „Seebären", falls bei ihnen nicht mit einem einzigen Wogenschwalle die Gleichgewichtsstörung schwindet, als starke stehende Schwingungen zu interpretieren sind. Weit häufiger, als auf Meeren, begegnen wir indessen solchen Niveauschwankungen auf Binnenseen. Hier ist auch so gut wie ganz die Gefahr einer Verwechslung mit Gezeitenbewegungen ausgeschlossen. Zwar hat Capper gewisse Wahrnehmungen, die er im Boden-See machte, mit Ebbe und Flut in Verbindung bringen wollen, aber Forel wusste rasch die Unzulässigkeit solcher Erklärung darzuthun [152]. Die dagegen sprechenden Gründe führt §. 8 näher aus.

Am 22. April 1887 ereignete sich auf einem Mitteldinge zwischen See und Meer, auf dem den südlichen Endausläufer des Stettiner Haffs bildenden Papenwasser, ein Vorfall, der deutlich genug den Zusammenhang illustriert. „Eine mächtige Flutwelle," liest man [153], „ging mit grosser Schnelligkeit in der Richtung von N nach S gegen den Strom und dauerte etwa 10^m an, worauf sich die Wassermenge in entgegengesetzter Richtung bewegte. Beide Male wurde ein unweit vom Lande liegender Werder von der Flut überschwemmt. Die ganze Erscheinung währte etwa $^3/_4{}^h$, dann beruhigte sich das Wasser wieder." Man wollte dieses periodische Hin- und Zurückfluten in der Gegend als eine Folge plötzlicher Bodensenkungen ansehen, während die Kennzeichen einer „Seebär"-ähnlichen Rhythmik ganz unverkennbar sind.

Die Wissenschaft hat den lokalen Ausdruck Seiches, womit die Bewohner der Gestade des Genfer-Sees periodische Seespiegelschwankungen bezeichnen, in ihren Besitzstand aufgenommen. Der Name scheint nach Forel, welcher einen sehr grossen Teil des zweiten Bandes seiner fundamentalen Monographie des heimischen Sees dieser vielgestaltigen Erscheinung gewidmet hat [154], im Drucke zuerst von dem Genfer Physiker Fatio de Duillier, dem bekannten Kämpen im Newton-Leibnizschen Prioritätsstreit über die Erfindung der Differentialrechnung [155], gebraucht worden zu sein [156]. Ursprünglich galt nur der genannte See als Heimat der Seiches; nur mit ihm beschäftigte sich von Anfang an in dieser Richtung eine ganze Anzahl von Publikationen; und erst nach und nach musste man sich überzeugen, dass auch anderen Binnenseen ein Phänomen keineswegs fremd ist, das nur allerdings, wie nicht zu leugnen, auf dem Leman besonders häufig und auch mit grosser Reinheit sich bemerklich macht.

Neben dem Werke Forels ist auch die Uebersicht, welche Muncke von den älteren Bestrebungen auf diesem Gebiete gibt [157], sehr brauchbar. Während Fatio de Duillier die verhältnismässig korrekte Erklärung vorgeschlagen hatte, dass heftige Stosswinde die Niveauschwankungen auslösen, brachte Jallabert [158] letztere mit einem plötzlichen Anwachsen der bei Genf einströmenden Arve in Verbindung, wobei er übersah, dass der obere Teil des Sees ganz ebenso, wie der untere, von Seiches betroffen wird. E. Bertrand, dessen Hypothese auch Forel nur nach abgeleiteten Quellen zitiert [159], dachte an Anziehung des Wassers durch stark elektrisch geladene Wolken. Sehr klar und bestimmt lautete die Aeusserung Saussures [160]: er glaubte, dass rasche, örtliche Veränderungen des Luftdruckes das Gleichgewicht der Wassermasse alterieren und derartige Oszillationen bewirken könnten. Sehr gründlich behandelte das immer wichtiger werdende hydrodynamische Problem Vaucher [161], der über ein stattlicheres Beobachtungsmaterial verfügte, und stimmte in der Hauptsache mit Saussures Auffassung überein. Dieselbe hat sich, wie wir sehen werden, auch die Herrschaft errungen; weder die Meinung von Sartorius [162], dass das Rhônewasser sich an Bodenhindernissen staue und Hebungen des Seewassers bewirke, noch diejenige von Addison [163], dass der schmelzende Schnee Tag für Tag eine Hochflut bedinge, konnten allgemeineren Beifall finden.

Vaucher hatte vor allem auch darin recht [164], dass Seiches auch anderwärts nichts ganz Unbekanntes seien. Berichte aus dem Bereiche der grossen nordamerikanischen Seen liegen nach Ratzel [165] bereits seit Ende des XVII. Jahrhunderts vor, von Dablon (1670), Pater André (1672), La Hontan (1689). Indessen besteht keine volle Sicherheit darüber, ob diese Hebungen und Senkungen auch wirklich ganz in die Kategorie einzureihen seien, mit welcher es dieser Paragraph zu thun hat. Die fünf kanadischen Seen repräsentieren nämlich in ihrer Gesamtheit eine so gewaltige Wassermasse, dass schon von vornherein die Möglichkeit, es könne an ihnen die Anziehung des Mondes in der Gestalt von echter Ebbe und Flut sich bethätigen, nicht gänzlich wegzuweisen ist. Und in der That scheint die Realität solcher Gezeitenbewegungen erwiesen zu sein. Graham [166] hat speziell für den Michigan-See Gezeiten als vorhanden dargethan, und Ferrel [167] hat ihm darin beigepflichtet. In Chicago kann die Springflut 7 cm betragen [168]. Gewiss können nebenher auch noch Seiches auftreten, und es wird als eine schwierige Aufgabe der harmonischen Analyse (S. 80) anerkannt werden müssen, beide Klassen von Phänomenen rechnerisch zu trennen, zu bestimmen, was Gezeit, was rhythmische Schwankung von kurzer Periode ist, zumal da auch der Windstau (S. 451) eingreifen kann. Forel führt Mitteilungen vom Oberen See, vom Erie-See, vom Seneca-See, vom Tahoe-See an [169]; für den letzteren sind Le Contes Nachrichten [170] gewiss als zuverlässiger Beleg zu betrachten. Auf dem Erie-See scheinen auch „Seebären" ihr Wesen zu treiben. Am 23. Mai 1823, so erzählt v. Hoff [171], schwoll das bis dahin ganz glatte Wasser des Sees plötzlich etwa 3 m über sein normales Niveau an, so dass das Wasser der Flüsse Otter und Kettle 3 km weit zurückgetrieben wurde; dann folgte zuerst Rückgang, hierauf kommen zwei weitere Anschwellungen von stets abnehmender Amplitude, und nach 20 Minuten war wieder gänzliche Ruhe eingetreten. — Wenn soeben, und auch oben (S. 457) schon, Gezeiten in Binnenseen im allgemeinen verneint wurden, so ist dabei natürlich nicht an solche gedacht, welche subterran mit dem Meere in Verbindung stehen. Unkontrollierbar ist eine Stelle bei Dicuil, dem irländischen Kosmographen der Karolingerzeit [172]: „In cosmographia legitur, quod Salinarum lacus in Africa, qui est in Tripolitana provincia et in regione Byzatio, lunari mense crescit et decrescit." Pontoppidan, der ebenso unermüdliche wie kritiklose Beförderer skandinavischer Landeskunde, weiss [173] von einem See, der auf den Fär-Öer ein gutes Stück über dem Meeresspiegel liegen, trotzdem aber an dessen Halbtagsgezeit regelmässigen Anteil nehmen soll. Im zerklüfteten Karstlande, über dessen unterirdische Wasserläufe Kap. IV der achten Abteilung sich verbreiten wird, sind solche Beeinflussungen eines Küstensees durch das benachbarte Meer keineswegs unmöglich.

Wir kehren nach dieser notgedrungenen Abschweifung dazu zurück, das Seiche-Phänomen auch in anderen Seen zu verfolgen. Horner schreibt 1826 in einem an A. Gautier gerichteten Briefe [174], Ineichen in Luzern habe die vom Genfer-See her bekannten Oszillationen auch im Vierwaldstätter-See nach-

gewiesen. Inwieweit ältere Nachrichten über gewisse eigenartige Bewegungen des Boden-Sees hier einzubeziehen sind, müssen wir dahingestellt sein lassen; denn obwohl die Anwohner des Schwäbischen Meeres vom Rus, vom Rinnen, vom Grundgewell sprechen, so hat sich doch nach den Untersuchungen von Forel und Graf Zeppelin herausgestellt [175], dass diese Bewegungen, an denen es auch im Genfer-See nicht gebricht, unrhythmischer Natur sind, daher auch erst in dem von den Inlandseen handelnden Kapitel betrachtet werden können. Obwohl jedoch eine Lokalbezeichnung mangelt, sind echte Seiches von den genannten Forschern ausser Zweifel gesetzt worden. Auch für den Züricher-See, Annecy-See, Luganer-See, Langen-See, Ochrida-See (Albanien, nicht Rumelien, wie Forel schreibt) und Wettern-See gilt ein gleiches [176]. Speziell den Neuenburger-See untersuchten Sarasin und Du Pasquier. Des letzteren Schilderung [177] lässt erkennen, dass die Reinheit der Erscheinung durch die Bodengestalt des — in zwei getrennte Becken zerfallenden — Sees getrübt ist, weil jedes Becken zwar zunächst seinen eigenen Schwingungszustand hat, aber durch seine eigenen Bewegungen auch die des anderen beeinflusst; nichtsdestoweniger ist der Zusammenhang mit der Witterung ein unverkennbarer. Von den bayerischen Seen fehlen noch längere Beobachtungsreihen, doch ist nicht unwahrscheinlich, dass das Rinnen des Starnberger-Sees, dessen der alte Westenrieder gedenkt [178], und welches mit dem Rinnen des Boden-Sees kaum identisch sein dürfte, in unser Bereich gehört. An den Seen der mecklenburgischen Seenplatte (Müritz-, Kölpin-, Tollense-, Malchower-See) sind auch Spiegelschwankungen wahrgenommen worden, die allerdings Boll [179], auf dessen Angaben wir zunächst angewiesen sind, zu fernen Erdbeben in Beziehung setzen will. Sehr genau erforscht ist der grosse Platten-See, dank den Anstrengungen des von der Ungarischen Geographischen Gesellschaft bestellten Ausschusses unter v. Lóczys Leitung. Die „Limnologie des Platten-Sees", aus v. Cholnokys Feder [180], gibt hierüber authentische Auskunft. Trotz der Seichtheit des ungeheuren Wasserbehälters, der auch in ein oberes und unteres Becken sich teilt, wurden fünf distinkte Seiches ermittelt [181]; eine, welche sich auf die ganze Länge des Sees erstreckt und eine zeitliche Periode von 12^h aufweist; eine Längsseiche bloss für das untere Becken; je eine Querseiche für beide Becken; und endlich noch eine besondere, der Keszthelyer Bucht angehörige Transversalseiche von kurzer Periode (43^m). Noch wenig geklärt sind die Verhältnisse mancher schwedischer Seen. Sieger, dessen mustergültige Bearbeitung [182] eines vielfach ungeregelten Beobachtungsstoffes für ähnliche Fälle zur Nachachtung empfohlen zu werden verdient, zählt eine Reihe von Vorkommnissen auf, welche eine Beeinflussung des Seeniveaus durch wechselnden Luftdruck ersehen lassen, und gewiss würde, falls man tieferen Einblick hätte, der Seiche-Charakter zum öfteren zu Tage treten. So erwähnt denn auch Sieger [183], dass am Wettern-See durch Hjärne und Tiselius echte Seiches, deren Wesen damals natürlich noch nicht erforscht war, beobachtet worden seien; auch das merkwürdige Stehenbleiben ausströmender Flüsse, von dem schon eine alte Dissertation [184] des Wallerius eine Beschreibung gibt, könnte mit starken Längsseiches in ursächliche Verbindung gebracht werden. An anderen skandinavischen Seen, so am Mjösen, sind in neuester Zeit, wie wir von Sieger [185] erfahren, ebenfalls sowohl longitudinale wie transversale Schwingungen konstatiert worden. Aus der britischen Inselwelt lag bereits im XVIII. Jahrhundert eine einschlägige Angabe vor, welche den schottischen Kenmore-See betraf [186]. Es würde sich dieses Verzeichnis, bezüglich dessen auch auf eine früher erschienene Abhandlung [187] des Verf. verwiesen werden kann, wohl noch vermehren lassen, allein es werden die beigebrachten Thatsachen zur Bekräftigung der Behauptung ausreichen, dass rhythmische Undulationen keinem grösseren Binnensee, falls er nur ernstlich auf ihr Vorhandensein geprüft wird, gänzlich fehlen.

Wenn l die Verbindungsstrecke der beiden Uferpunkte ist, zwischen welchen die Schwankung sich vollzieht, h die mittlere Tiefe, g die bekannte Schwerebeschleunigung bedeutet, so gilt nach Merian [188] für die Schwingungsdauer t die einfache Formel $t = \sqrt{l : gh}$. Bei seichten Gewässern, wenn h klein ist, wird diese Zeit somit vergleichsweise gross ausfallen. Der allgemeineren Annahme, dass das Becken, wie es ja (s. o.) der Fall sein kann, aus n nur oberflächlich kommunizierenden Einzelbecken mit den Mitteltiefen $h_1, h_2 \ldots h_n$ und mit den Durchmessern $l_1, l_2 \ldots l_n$ bestünde, wird, wie Du Boys [189] zeigte, die — für $n = 1$ mit ersterer sich deckende — allgemeinere Formel

$$t = \frac{1}{\sqrt{g}} \Sigma_{i=1}^{i=n} [2 l_i : (\sqrt{h_i} + \sqrt{h_{i+1}})]$$

sich anpassen. Auch dies ist natürlich ein Näherungsausdruck; es sollte jedes Glied eigentlich noch mit dem Faktor $\sqrt{\mathfrak{Cotang}(\pi h_i : l_i)}$ multipliziert erscheinen — wegen des Wesens der unter dem Wurzelzeichen stehenden Funktion vgl. S. 442 —, aber da, wenn h_i sehr gross ist, die hyperbolische Kotangente des an das Unendliche heranreichenden Argumentes von der Einheit wenig verschieden ist, so kann von diesem Faktor bei tiefen Gewässern abgesehen werden.

Wie genau Merians Formel, obwohl Gefässe im Laboratorium der Forderung eines sehr grossen h schlecht entsprechen, immerhin den Thatsachen sich anschmiegt, lehre ein von Forel [190] gerechnetes Beispiel. Er erzeugte eine rhythmische Schwankung in Bassins von 1,30 m Länge und resp. 5 und 35 cm Tiefe und fand resp. 0,80 und 1,82 Sekunden Schwingungsdauer, während die rechnerisch gefundenen Zeiten 0,78 und 1,86 Sekunden ergeben hätten. Der weggelassene Faktor ist mithin wirklich ohne grossen Belang.

Nach wie vor bleibt der Genfer-See der klassische Schauplatz der uns hier interessierenden Bewegungsform. Nachdem durch Forel eine grosse uninodale Längsschwankung zwischen Genf (Rhôneausfluss) und Villeneuve (Rhôneeinfluss) von 73 m Dauer ermittelt war, gelang es mittelst der transportablen Selbstregistratoren (S. 383), welche in Morges (Forel) und Sécheron (Ph. Plantamour) thätig waren, auch binodale Schwingungen zu erkennen; nach Sarasin von 35 minutiger Dauer [191]. Insbesondere aber kamen Forel und Soret auch Interferenzen auf die Spur [192], deren Ergebnis sie dikrote Seiches nannten (δίκροτος, wörtlich = zweiruderig); die eine Komponente ist uni-, die andere binodal, und die Periode ersterer übertrifft etwas diejenige der letzteren. Guthries Experimente [193] würden allerdings das Periodenverhältnis $\sqrt{2} : 1$, nicht 2 : 1 liefern, wie es aus der Beobachtung folgt, allein gerade hier muss bedacht werden, dass der Versuch sich zunächst an Becken hält, deren Tiefe der Länge gegenüber gross ist, und beim Leman verhält es sich gerade umgekehrt. Auf dem Boden-See scheint es zur Bildung solch zusammengesetzter Seiches nicht kommen zu können, weil, soviel man wenigstens bisher gefunden hat [194], zweiknotige Oszillationen nur schwach und undeutlich in die Erscheinung treten.

Die naheliegende Vermutung, Erderschütterungen möchten sich in den Seiches abspiegeln, ist von Forel [195] wohl endgültig beseitigt worden, nicht etwa deshalb, weil eine solche Wechselbeziehung an und für sich für unwahrscheinlich zu halten wäre, sondern einfach aus dem unwiderleglichen Grunde, weil sechs am Genfer-See in den Jahren 1876 und 1877 deutlich verspürte Erdstösse am Limnimeter sich ganz und gar nicht abzeichneten, und doch ist dieses Instrument empfindlich genug, um noch die Wellenbewegung eines 10 bis 15 km entfernt fahrenden Dampfbootes zu signalisieren. Es bleibt vielmehr bei der Theorie von Saussure und Vaucher (s. o.), dass örtliche, rasche Veränderungen des Barometerstandes die eigentliche Entstehungsursache darstellen; seit man auch automatische Luftdruckzeichner besitzt, lässt sich der Beweis noch schlagender führen, wie ein Blick auf die mit grösseren Transversalseiches korrespondierenden Barogramme von Morges (Waadt) und Thonon (Haute Savoie) zeigen mag [196]. Der Vergleich v. Cholnokys [197], der eine kommunizierende Röhre betrachtet und annimmt, der auf einer der beiden Schenkeln lastende Druck werde auf einmal vermindert, worauf sich unverzüglich ein Steigen der Flüssigkeit in diesem, ein Sinken in dem anderen Schenkel einstellen werde, ist völlig zutreffend. Jähen Barometersprüngen wird dann selbstredend auch eine stärkere Amplitude der stehenden Schwingungen entsprechen; nach dieser Seite hin ist Ph. Plantamours Beobachtung [198] sehr belehrend, wonach ein Barometersturz von 16 mm fürs erste keine energische Bewegung im Genfer-See zuwege brachte, wohl aber der durch jenen (S. 359) angekündigte, einige Zeit später losbrechende Sturm, der sich durch eine Seichekurve mit tiefen Thälern und steilen Höhen im limnimetrischen Zeichnungsblatte markierte.

Fassen wir das, was über die Entstehung der Seiches in Erfahrung zu bringen war, zusammen, so stellt sich folgendes Gesamtbild dar. Seiches können zwar die Folge seismischer Ereignisse, auch wohl abrupter Veränderungen des Bodenreliefs

und der Uferböschungen sein, aber das sind Ausnahmen, und in der Regel sind rhythmische Spiegelschwankungen, mögen sie nun einknotig, zweiknotig oder dikrot sein, das hydrodynamische Gegenstück örtlicher aerostatischer Störungen. Selbst langsamere Druckveränderungen können auslösend wirken; Zyklonal- und Fallwinde, welche letztere bei annähernd vertikalem Auftreffen auf die Wasserfläche deren Gleichgewicht erheblich beeinflussen müssen, bringen Seiches von bedeutender Amplitude hervor. Sekundäre Kraftwirkungen sind nicht ausgeschlossen, vermögen jedoch einen nennenswerten Einfluss nicht auszuüben.

Ehedem war man nicht abgeneigt, leichte Trübungen des Genfer-Sees, welche bei schwacher Brise bemerkbar werden und im Patois als Fontänen bezeichnet werden, als Begleitphänomen der Seiches gelten zu lassen. Das trifft nach Forels Aufklärungen [199] nicht zu. Derselbe erblickt in ihnen, die sich gerade durch eine fast absolute Wellenruhe auszeichnen und bei geeigneter Beleuchtung die irisierenden Newtonschen Ringe zeigen, eine Art von Oelflecken. Von zersetzten pflanzlichen und tierischen Stoffen kommen die fettigen Bestandteile an die Oberfläche [200] und breiten sich dort aus, dünne Häutchen bildend, wie wir sie im vorigen Paragraphen zur Genüge kennen gelernt haben.

Von Seiches des Meeres haben wir bisher die — zwar nur hypothetisch, aber doch mit viel Wahrscheinlichkeit dahin zu rechnenden — „Seebären" betrachtet. Ohne allen Zweifel gehören aber hierher auch die eigenartigen Strömungserscheinungen im Euripus, in der Meerenge zwischen der Insel Negroponte und dem Festlande von Hellas, während die früher von uns [201] der gleichen Kategorie zugewiesenen Strömungen der Strasse von Messina sich anscheinend (s. u. §. 13) ihr Bürgerrecht anderswo suchen müssen. Die Bewegungen im Euripus, deren Kompliziertheit der Sage nach für Aristoteles einen schweren Stein des Anstosses bildete, wurde von Theophrast in der Weise erklärt [202], dass die beziehungsweise von See- und Landwinden (S. 196) erzeugten Strömungen miteinander in Konflikt gerieten. Gestützt auf gründliche Beobachtungen des Griechen Miaulis konnte Krümmel [203] eine besser befriedigende Erklärung geben. Miaulis hatte die Diagramme des Mareographen (S. 383) im Nord- und Südhafen des bei Chalkis sich überaus enge zusammenziehenden Sundes veröffentlicht [204], und aus diesen folgte, dass in der Nordhälfte, dem Golfe von Talanti, die Bewegungen ganz den Forelschen Gesetzen (s. o.) für die Seiches gehorchen, wenn sie überhaupt dort eintreten, und dass in der Südhälfte, in welcher der Flutwechsel ein weit unscheinbarerer ist, die Uebereinstimmung noch deutlicher in die Augen fällt. Dass Fallwinde es sind, welche die minder regelmässigen Undulationen des nördlichen Europas hervorrufen, dünkt Krümmel [205] sehr glaublich. — Auch an den maltesischen Küsten hat Airy [206] stehende Wasserwellen nachgewiesen. Die zwischen Nordafrika und Sizilien fluktuierende Welle ist jedenfalls eine mehrknotige [207]; „welche Zahl von Knotenlinien die stehende Welle der Malteser See wirklich hat, lässt sich gar nicht entscheiden."

Gewiss ist also, dass auch im Meere Seiches möglich sind; möglich vielleicht auch, dass sie noch häufiger vorkommen, als wir zur Zeit mutmassen. In voller Reinheit können sie freilich nur in Nebenmeeren sich offenbaren; in den Ozeanen nämlich vermischt sich die oszillatorische Bewegung, welche auf Variationen des Luftdruckes zurückgeht, allzu leicht mit jener weit intensiveren Wellenbewegung, welche nicht nur an einzelnen besonders geeigneten Oertlichkeiten hervortritt, sondern sich über den ganzen Erdball erstreckt.

§. 8. **Die Gezeiten.** Als Gezeiten oder Tiden (franz. marées; engl. Tides; ital. maree) kennt jeder Bewohner freier Meeresküsten die Thatsache, dass im Verlaufe von 24 Stunden je zweimal ein

Anschwellen und ebenso oft ein Rückgang der Gewässer stattfindet. Die Antike war mit dieser Erscheinung nur wenig vertraut, weil das geographische Wissen sich fast mit Ausschliesslichkeit auf das Mittelmeergebiet konzentrierte, welches in dieser Beziehung nicht viel Beobachtungsstoff liefern konnte. Erst mit der Ausbildung der Hochseeschiffahrt fing man das Studium der Gezeiten eifriger zu betreiben an.

Das Wort Tide ist nicht spezifisch englisch, sondern niederdeutsch [208], und es wird deshalb neuerdings auch in deutschen Schriften als gleichbedeutend mit Gezeit gebraucht. Dass die Gezeiten sich aus Ebbe und Flut (franz. flux et reflux; engl. Flow-Flux and Ebb-Reflux; ital. flusso e riflusso) zusammensetzen, ist bekannt.

Die ältesten Mitteilungen über das Gezeitenphänomen rühren von Platon und Aristoteles her [209]; allerdings steht darüber nichts in den auf uns gekommenen Schriften beider Philosophen, aber die Doxographen (I, S. 2) haben das, was uns fehlt, teilweise ergänzt. Das positive Wissen musste unbedeutend bleiben, weil (s. unten in §. 8) Ebbe und Flut im Mittelmeere wenig auffällt; erst als Pytheas (I, S. 5) als der erste Grieche, von dem wir dies mit Bestimmtheit wissen, die Säulen des Herkules durchfahren hatte, wurde etwas Zuverlässigeres bekannt, um so mehr, da der kühne Reisende an die britannische Küste mit ihren hohen Flutwellen gelangt war [210]. Dann suchte man auch theoretisch über ein so merkwürdiges Phänomen sich klar zu werden; näheres darüber wird §. 9 aussagen.

Es ist nun unsere nächste Pflicht, den Thatsachenbestand der Gezeiten zu schildern. Wer tiefere Belehrung sucht, findet sie in den Schriften von Lentz [211] und Kreidel [212]; letztere gibt namentlich Aufschluss über die Verschiedenheiten, welche das Tidenphänomen in den einzelnen Hauptmeeren der Erde darbietet. Auch Brandes' Lexikonartikel [213] ist heute noch sehr lesenswert. Von Airys systematischer Schrift „Tides und Waves" ist bereits die Rede gewesen (S. 442). Eine spezielle Monographie der Gezeiten gab in französischer Sprache Le Corguillé [214]. Die neuesten Untersuchungen hat Krümmel [215] sehr übersichtlich zusammengefasst, und auch dessen Handbuch [216] ist, weil bis zur Stunde eine analog vollständige Darstellung nicht vorhanden ist, nach wie vor unentbehrlich.

Bei tiefstem Ebbestande ist das Meer so weit zurückgetreten, dass ein ziemlich breiter Ufersaum, dem man ansieht, dass er noch vor kurzem vom Meere bedeckt war, fast trockenen Fusses beschritten werden kann. Eine Stunde später fangen die Wellen an, die äusseren Teile dieser Zone wieder zu bespülen; allmählich wächst die Geschwindigkeit des Steigens und erreicht ihren grössten Wert nach ungefähr drei Stunden. Jetzt ist Mittelwasser eingetreten. Das Wasser steigt unausgesetzt, wenn auch nach und nach die Geschwindigkeit des Wachstums sich vermindert. Nach sechs Stunden ist das Hochwasser (haute mer, high Water; alta marea) erreicht, und nun beginnt ein langsames Fallen, das sich mehr und mehr beschleunigt, bis nach neun Stunden wieder das Mittelwasser passiert wird. Abermals folgt jetzt Verlangsamung, und zuletzt wird das Sinken ein beinahe unmerkliches, bis die Wasserlinie nach Verlauf von zwölf Stunden abermals beim Niedrigwasser (basse mer; low Water; bassa marea) angekommen ist. Im grossen und ganzen haben Hoch- und Niedrigwasser einen ziemlich konstanten Stand; alle vierzehn Tage aber ist abwechselnd ein Maximum und ein Minimum zu konstatieren. Im ersteren Falle spricht man von einer Springflut (vives-eaux; Spring Tide; piena marea), im zweiten von einer tauben Flut (mortes-eaux; Neap Tide; vuota marea). Die auch vorkommende deutsche Bezeichnung Nippflut ist den Seeleuten nicht geläufig.

Schon frühzeitig war bekannt, dass sich die Tiden nach dem Stande des Mondes richten, und ohne weiter über die innere Bedeutung einer unzweifelhaften Thatsache nachzugrübeln, gründete man auf diese die Vorausbestimmung des Termines, zu welchem die einzelnen Phasen eintreten. Den Zusammenhang beider Erscheinungen dürfte zuerst Pytheas klar erkannt haben [217];

auf diesem Standpunkte beharrten die Griechen, und von ihnen lernten die Römer, so dass selbst der wenig erfahrene Plinius, der sich ganz auf Buchgelehrsamkeit verlässt, die Abhängigkeit der Gezeiten vom Mondlaufe für sehr wahrscheinlich erklärte [218]. Die römischen Autoren waren die Lehrer des Mittelalters, und nachdem schon im VIII. Jahrhundert Beda den Satz ausgesprochen hatte [219], „aestus oceani lunam sequitur", ging diese Erkenntnis, so sonderbar man sich auch vielfach das Motiv zurechtlegte, in der ganzen scholastischen Periode nicht mehr verloren. Doch ermittelte man erst sehr allmählich, und zwar wesentlich unter dem Drucke der in der Zeit der grossen Entdeckungen sich fühlbar machenden Notwendigkeit, zwei ergänzende Thatsachen: Das Hochwasser tritt nicht gleichzeitig mit der Kulmination des Mondes, sondern erst etwas später ein, und der Zeitraum, welcher zwischen dem Ereignis am Himmel und dem auf der Erde liegt, ist für verschiedene Orte auch verschieden gross.

Diese Zeit, um welche bei einer bestimmten Mondphase, als welche man gewöhnlich Voll- oder Neumond wählt, das Hochwasser dem Meridiandurchgange des Mondes folgt, heisst Hafenzeit (établissement, Etablishement, stabilimento). Der erste Versuch, im nautischen Interesse eine Tabelle der Hafenzeiten verschiedener Seeplätze anzulegen, scheint von Cabot (1553) unternommen worden zu sein [220]. Die Hafenzeit ist sogar für wenig entfernte Orte durchaus nicht konstant, vielmehr spricht sich in ihr die Besonderheit der Oertlichkeit sehr deutlich aus. Im Anschlusse an Airy [221] folgt ein Stück von dessen Tabelle irischer Hafenzeiten; die hier genannten Orte gehören sämtlich der Westküste der Insel an.

Station	Mittelzeit des Hochwassers	Mittelzeit des Niedrigwassers	Mittel überhaupt
Kilbaha	4 h 47 m	4 h 12 m	4 h 35 m
Kilrush	4 „ 56 „	4 „ 28 „	4 „ 55 „
Foynes-Island . .	5 „ 52 „	5 „ 12 „	5 „ 44 „
Limerick	6 „ 23 „	6 „ 17 „	6 „ 34 „
Casleh-Bay . . .	4 „ 55 „	4 „ 14 „	4 „ 48 „
Galway	5 „ 4 „	4 „ 13 „	4 „ 53 „

Bei genauerer Betrachtung überzeugte man sich, dass die Hafenzeit schon um deswillen nicht im eigentlichen Sinne eine konstante sein kann, weil neben dem Monde auch die Sonne ihren Einfluss geltend macht. Als wahre Hafenzeit definiert man deshalb [222], im Gegensatze zu der aus sämtlichen Mondflutintervallen eines längeren Zeitabschnittes entnommenen mittleren, die astronomische Ortszeit des ersten Hochwassers nach Voll- oder Neumond, wenn noch die Voraussetzung gemacht wird, dass Sonne und Mond beiderseits im Aequator der Himmelskugel stehen und sich gerade in ihrer mittleren Entfernung von der Erde befinden.

Versuchen wir es jetzt, uns von dem Grunde, welcher bewirkt, dass die Hochflut und tiefste Ebbe nach und nach über die ganze Erde sich ausbreitet, eine klare Vorstellung zu machen. Laplace, dessen Theorie wir noch näher kennen lernen werden, scheint zuerst den oszillatorischen Charakter der in Rede stehenden Bewegung bestimmt erfasst zu haben [223]; Bessel konstatierte [224] das Fortschreiten der Flutwelle, wenn schon in nicht hinlänglich präziser Ausdrucksweise, insofern er von einem „Strömen" des Wassers sprach. Korrekter muss man sich folgendermassen ausdrücken: Eine ungeheure Wasserwelle umkreist, der scheinbaren täglichen Bewegung des Mondes folgend, im Laufe von 24 Stunden zweimal den Erdball, und falls derselbe von einem gleichmässig tiefen Meere ganz und gar bedeckt wäre, so würden alle Orte des nämlichen Meridianes gleichzeitig Hoch- und gleichzeitig Niedrigwasser haben.

Die ungleiche Küstenkonfiguration ist es, welche, wie auch zeitlich (s. o.), so hinsichtlich der Fluthöhe den einfachen Sachverhalt, der sich aus der idealen Voraussetzung gleichförmiger Wasserbedeckung ergeben würde, beträchtlich modifiziert. Ein paar Beispiele mögen dies erläutern; Brandes hat einige interessante Daten hierüber gesammelt [225], und andere enthält, soweit ältere Zeit in Betracht kommt, das Handbuch von Romme [226]. Die Hochwasserstände der Gesellschafts- sollen sich zu denen der Sandwich-Inseln wie 1 : 2,5 und die Hochwasserstände der brasilianischen Küste nächst Rio de Janeiro zu denjenigen bei Pará wie 4 : 15 verhalten. Die Flutgrösse, d. h. der Unterschied der Wasserstände bei Hoch- und Niedrigwasser, erreicht um die Zeit des Neumondes nach Krümmel [227] in Tahiti 40, in Ascension 60, in St. Helena 90, in Südgeorgien 80, an einzelnen Inseln der Azorengruppe 120 und in Madeira sogar 210 cm. Während an den europäischen Küsten beide tägliche Hochwassernotierungen nur unerheblich sich zu unterscheiden pflegen, ist die tägliche Ungleichheit anderwärts, z. B. an der Nordküste des Mexikanischen Meerbusens, von sehr namhaftem Betrage. Dies kann so weit gehen, dass die eine der beiden Tagesfluten nahezu ganz verschwindet.

Schon im XVII. Jahrhundert wurde von Knox und Davenport die überraschende Mitteilung gemacht [228], an der Küste von Tongkin nehme sowohl die Flut als auch die Ebbe jeweils zwölf ganze Stunden für sich in Anspruch. Auch nördlich, nach China hinein, pflanzt sich diese auffallende Unregelmässigkeit wenigstens teilweise fort, denn im Hafen von Wusung z. B. steht einer Zeit des Steigens von 4 eine Zeit des Fallens von 8 Stunden gegenüber [229]. P. Hoffmann erklärt das tongkinesische Paradoxon wie folgt [230]: An die Stelle der gewöhnlichen Gezeitenwelle ist eine stehende Welle, eine Seiche (S. 457) von gigantischer Ausdehnung getreten. Ein auf die Meriansche Formel (S. 459) sich gründende Berechnung vermochte die Elemente dieser degenerierten Gezeit recht befriedigend darzustellen. Uebrigens ist die kleinere Tagesanschwellung immerhin vorhanden, aber ihre Höhe ist von der Jahreszeit abhängig und gerade in dem Monate, da Davenport (s. o.) an Ort und Stelle war, erreicht sie ihr Minimum.

„Nicht minder rätselhaft“, sagt Krümmel [231], „ist die Veränderlichkeit des Verhältnisses der Sonnen- zur Mondflut von Ort zu Ort, wobei es nur selten dem theoretischen Werte 1 : 2,285 nahe kommt, wie in San Diego (Kalifornien). Bei Fort Clinch (Florida; 30° 7′ n. Br.; 81° 30′ w. L.) stellt es sich wie 1 : 6, dagegen wieder bei Cat Island im Golfe von Mexiko wie 6 : 11.“ In Mauritius und Ceylon können Mond- und Sonnentiden als so ziemlich gleich betrachtet werden [232].

Als Regel wird gelten müssen: Nur im freien Meere kann das Gezeitenphänomen zur richtigen Entwickelung kommen, während es in Nebenmeeren stets einer gewissen Verkümmerung unterliegt. Je kleiner die Fläche des Nebenmeeres, je geringer die Gesamtzugangsbreite (S. 414) seiner zum Ozean führenden Pforten ist, um so mehr werden kräftige Tiden zu den Ausnahmen gehören. Der Grund davon ist leicht einzusehen, wenn wir vorgreifend daran erinnern, dass die Anziehung der Himmelskörper das primäre Steigen der Gewässer veranlasst. Die Attraktion ist aber (I, S. 163) proportional den Massen der beiden sich gegenseitig anziehenden Körper, und muss folglich selbst geringfügig werden, wenn die eine der beiden Massen, verglichen mit der anderen, unbedeutend ist.

Lange vor Entdeckung des wahren Gravitationsgesetzes stellte Stevin [233] die Forderung: „Declarer pourquoy les petites eaux ne sont pas attirées si haut de la lune et de son poinct opposite, que les grandes“. Seine Antwort geht eben dahin, dass eine gewisse Masse dazu gehöre, um stärker beeinflusst zu werden. Binnenseen sind deshalb im allgemeinen der Gezeitenbewegung nicht unterworfen. Selbst der mächtige Kaspische See entbehrt der Tiden ganz, und höchstens in den grossen Seen Nordamerikas manifestieren sich (S. 458) wirkliche Anschwellungen und Senkungen von doppelt-periodischem Tagescharakter. — Die Ostsee gehört gleichfalls hierher; immerhin zeigen sich im äussersten Westen, im Guldborgsund

(zwischen Laaland und Falster) und im Kleinen Belt (bei Fredericia) Stromwechsel von regelmässiger Abwechselung, in denen Irminger [234] Konsequenzen der Gezeiten aufdecken zu können glaubte. Auch Paschen hielt daran fest, dass in der westlichen Ostsee Ebbe und Flut nachweisbar seien; v. Schultén freilich wollte bloss Vermittelungsströmungen anerkennen, bei deren Auslösung der Luftdruck eine grosse Rolle spiele, und wirklich geht auch sowohl aus v. Lorenz-Rothes, wie auch aus Siegers Schilderungen hervor, dass der regelmässige Wasserwechsel zwischen Mälar-See und freier Ostsee sich nur durch Schwankungen des Barometerstandes erklären lässt [235]. Ackermann betont [236] immerhin, dass, wenn man der Südküste des Baltischen Meeres folgt, eine stetige Abnahme in der Grösse der durch kosmische Anziehung hervorgebrachten Undulationen unschwer wahrzunehmen ist, bis in den östlichen Partien des Meeresbeckens eine vollständige Verwischung dieser Bewegungsform eintritt. — Das Mittelländische Meer hat schwache Gezeiten. Nur an zwei Stellen summieren sich, nach Toaldo und Vigan, die Einzelwirkungen etwas mehr, in den Syrten bei Sfaks und in der venetianischen Ecke der Adria [237]. Nächst Venedig beläuft sich die Differenz zwischen höchstem und niedrigem Pegelstande, Toaldos Messungen zufolge, auf mehr denn 1 m. Die sehr kräftigen Pegelverschiebungen im Niveau des Schwarzen Meeres haben, wie Brückner [238] zeigte, nur sehr wenig mit den Tiden, sehr viel aber mit meteorologischen Veränderungen der über dem Meere ruhenden Atmosphäre zu thun. Man könnte wohl von einer Gezeit sprechen, allein dies ist dann keine tägliche, sondern eine jährliche, wie sie auch der Ostsee nicht fehlt [239] und auch an anderen Meeresküsten zum öfteren nachgewiesen werden konnte.

§. 9. **Verstärkung und Abschwächung der Gezeiten.** Die astronomischen Momente, von denen eine Verstärkung oder Schwächung der Flutwelle abhängt, wirken, wie sich das von selbst versteht, mit grösster Regelmässigkeit, so dass man das Ergebnis ihrer Wirkungen mit grosser Sicherheit vorauszubestimmen im stande ist. Es können jedoch auch andere Umstände dazu beitragen, Fluten von ganz besonderer Energie zu erzeugen. Wir haben, indem wir dies aussprechen, einerseits gewisse meteorologische Faktoren, andererseits aber den Umstand im Auge, dass die Küstenbeschaffenheit die an sich normale Flutwelle zu ganz besonderer Höhe anzuschwellen zwingt.

Was ersteren Punkt anlangt, so steht fest, dass der Luftdruck nicht ohne Einfluss auf die Fluthöhen ist. Nur ist es hier, wie in verwandten Fällen, schwierig [240], die direkte Einwirkung von der indirekten zu scheiden, d. h. mit sinkendem Luftdrucke erhebt sich Wind (S. 189), und dessen Wehen greift störend in die Ausbildung der Gezeitenwellen ein. Lubbock [241] suchte zuerst ein Gesetz der Abhängigkeit zwischen dem Steigen des Barometers und der Abnahme der Fluthöhe festzustellen, und Admiral Wharton kam 1894 zu dem Schlusse: Ein Zoll Zunahme des Barometerstandes korrespondiert mit einem Fuss Abnahme in der Höhe des Hochwassers. Neuerdings hat Wheeler in einem Vortrage, den er vor den Mitgliedern des Bostoner Gelehrtenkongresses hielt, diese einfache Beziehung für unstichhaltig erklärt und überhaupt hervorgehoben, dass man den Sachverhalt nicht schablonenhaft konstruieren dürfe [242]. Bei 61 Beobachtungsdaten entsprach hohe Flut einem niedrigen Stande des Barometers. Was die heftigen Winde und Stürme anlangt, so kommt natürlich alles auf deren Richtung an; Luftströmungen, welche mit der Flutwelle fortschreiten, müssen die Höhe der Wogenkämme verstärken, und ebenso müssen sie nivellierend, abkämmend wirken, wenn ihre Richtung derjenigen der Flutwelle entgegengesetzt ist. Wir werden noch viele Erfahrungen zu sammeln haben, ehe wir das Bedingtsein der Fluthöhe durch den Druck der Luft statisch und dynamisch richtig zu verstehen vermögen.

Die zweite Modifikation der Flutbewegung, auf welche wir oben anspielten, tritt dann hervor, wenn die Flutwelle in einen tiefen und engen Einschnitt der Küste einlaufen muss. Dann ergeben sich gewaltige Erhebungen des Hochwassers über dem Mittelwasser, und manche Stellen sind in

dieser Beziehung allgemein bekannt. Wir nennen als typische Oertlichkeiten den Kanal von Bristol und die Fundy-Bay (kanadische Küste). Wenn die Verhältnisse im ersteren Falle ganz aussergewöhnliche sind, so trägt daran, einer neueren Untersuchung von Börgen [243] zufolge, einen Teil der Schuld eine Interferenzerscheinung; die aus dem Ozean kommende Welle und jene Welle, welche um den Norden Irlands herum sich durch die Irische See fortpflanzt, treffen sich am Eingange der Bucht unter gleicher Phase, so dass eine Summierung ihrer Höhen nicht ausbleiben kann. „Die zweite Ursache," fährt Börgen fort [244], „liegt in der Gestalt des Bettes, in dem sich die kombinierte Welle nun weiter fortbewegt. Dieses bildet einen sich rasch verengenden Trichter, und hierin haben wir eine mächtige Ursache zur Erhöhung der in denselben eindringenden Welle." Nicht viel anders liegen die Dinge bei der Fundy-Bay, über deren Fluten Chalmers anlässlich der geologischen Landesaufnahme von Britisch-Nordamerika Studien anstellen konnte [245]. Die Flut steigt, schief ansteigend, immer höher an den Felswänden an, und auch bei Ebbe lässt sich die Wasserfläche als schiefe Ebene deutlich erkennen. Die Wasserhöhen bei Hoch- und Niedrigwasser halten zu denjenigen eines wenig entfernten, aber nicht mehr zur Bay selbst gehörigen Küstenpunktes die folgenden Verhältnisse ein: 29,3 : 24,1 und 20,8 : 16,0. Man sieht daraus, dass auch während der Ebbe die eigentümliche Gestalt der Einbuchtung eine Erhöhung des Wasserstandes bewirkt hat.

Wenn man sich von den mechanischen Bedingungen dieser Auftürmung des Flutwellenscheitels Rechenschaft geben will, so muss man, wie das an anderem Orte ausführlicher geschehen ist [246], die physikalische Lehre vom Sprungkegel — die neuere Naturlehre hat für den von ihr zu wenig beachteten Gegenstand noch keine zutreffendere Bezeichnung geschaffen — zum Ausgangspunkte nehmen. Von Daniel Bernoulli [247] angedeutet, ist diese Lehre durch Parrot [248] und Muncke [249] systematischer begründet worden. Sie tritt überall da in Kraft, wo es sich um Stauerscheinungen handelt und wird uns in Kap. IV der achten Abteilung zweimal, bei den Quellen und bei den Meermühlen, wieder begegnen.

Bernoulli kam zu seiner Erörterung durch die Wahrnehmung, dass bei der Bewegung von Flüssigkeiten der damals meistenteils als Hauptprinzip der Dynamik angenommene Grundsatz [250], kein Punkt könne ein höheres Niveau erreichen, als dasjenige, von welchem er herkam, in Wirklichkeit oft nicht eingehalten werde; es müsse also zwischen dem „ascensus potentialis" und dem „ascensus actualis", wie er bei der Brandung und bei den Gezeiten sich den Sinnen darstellt, unterschieden werden. Das Gesetz der kommunizierenden Röhren gilt eben nur für Gleichgewicht; wird aber eine (S. 521) thatsächlich unzusammendrückbare Flüssigkeit durch Druck, der von einer Seite kommt, zum Ausweichen genötigt, so müssen, falls ein Ausweg nicht vorhanden ist, Zertrümmerungen der Wandungen stattfinden, während, wenn ein solcher Ausweg nach oben sich zeigt, dem Ansteigen der Flüssigkeit überhaupt keine bestimmte Grenze gesetzt ist. So erklären sich die oben erwähnten Flutwellen aufs ungezwungenste; so ergeben sich auch die Brandungsstrahlen (S. 450) aufs einfachste, zumal dann, wenn die Welle, was v. Fritsch [251] in tropischen Ländern zum öfteren gesehen hat, die Felsbänke des Ufers unterhöhlt hat, so dass die Wasserstrahlen aus engen Löchern bis 50 m hoch emporspritzen. Hierher gehören die Bufaderos der Canarischen Inseln, welche Calderon [252] ganz zutreffend auf das bekannte Prinzip des hydraulischen Widders zurückführt, denn auch dieses Instrument, von dem zumal aus älterer Zeit viele Beschreibungen vorliegen [253], beruht auf dem Grundgedanken, dass aufgestautes, komprimiertes Wasser sich einen gewaltsamen Ausweg suchen muss. Des ferneren darf hier subsumiert werden eine Beobachtung von der Insel Malta [254]; ein Bohrloch war absichtlich in einen überhängenden Uferfelsen getrieben worden, und durch dieses drangen bei Springflut hohe, bis gegen 20 m ansteigende intermittierende Naturfontänen hervor. Auch hörte man gleichzeitig ein eigentümliches Donnergrollen, ähnlich wie bei den früher (I, S. 456) geschilderten rätselhaften Detonationen auf der Insel Meleda (Dalmatien), welche P. Partsch und Stulli beschrieben haben [255]; dies führte uns damals zu der Aussage, man vermöge

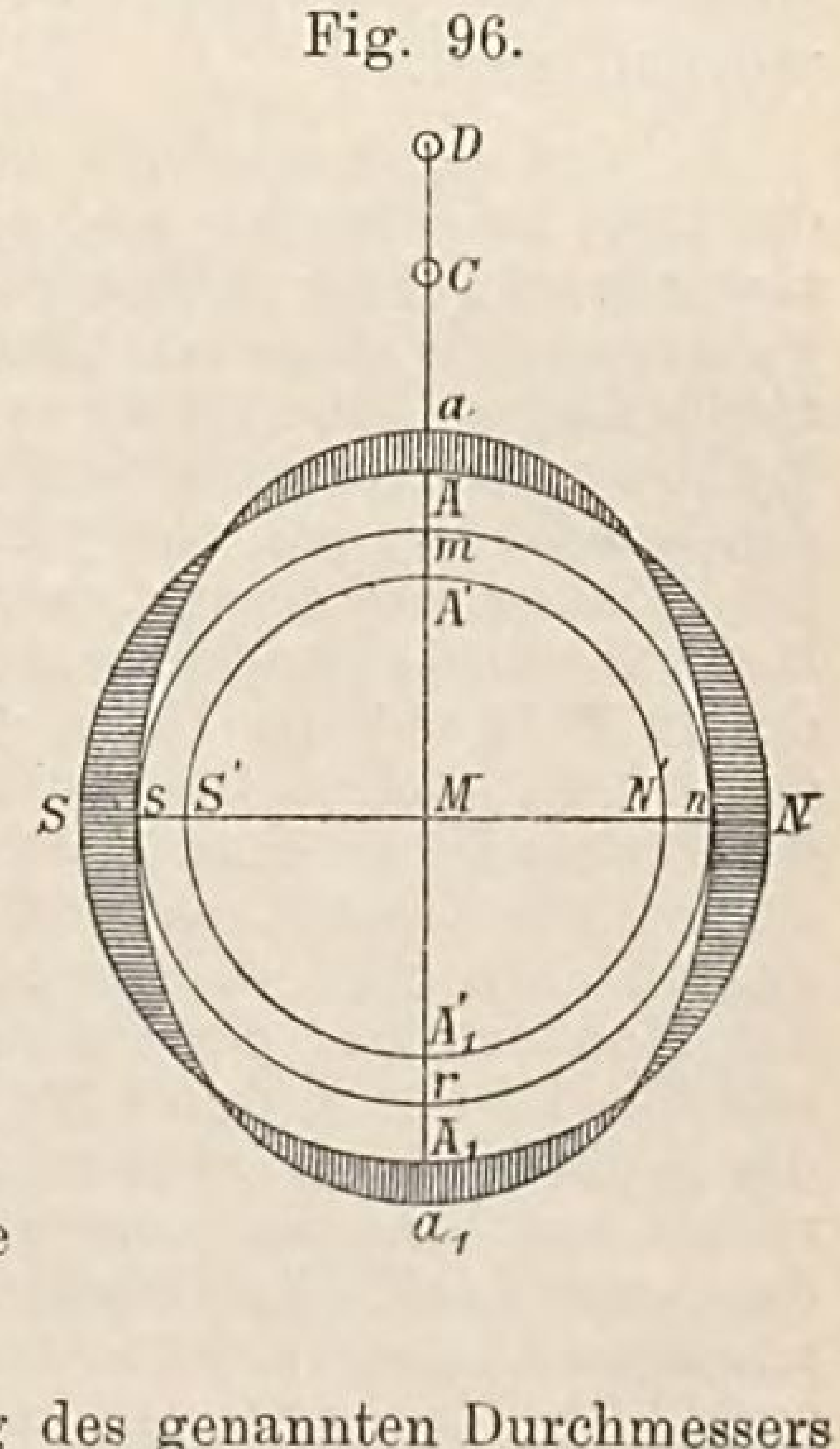
das letzterwähnte Phänomen wohl auch ohne Appell an die Erdbeben zu erklären. Ein weiteres Beispiel findet sich im Meerbusen von Biscaya, nahe bei Biarritz [256]; dort ragt bei niedrigem Wasser ein Fels empor, den man „den Walfisch" nennt, weil zur Zeit hoher Flut dünne Wasserstrahlen aus einer Menge kleiner Oeffnungen emporsteigen. Endlich darf auch noch an die Eisvulkane [257] am Gestade des Ontario-Sees erinnert werden; kegelförmige Aufschüttungshügelchen mit einem Pseudokrater stehen durch Kanäle mit dem See in Verbindung, und wenn dieser bei Eisgang sehr unruhig wird, so werden aus jenem Krater Eisstücke in die Höhe geschleudert. Vgl. auch S. 505.

Unsere gedrängte Aufzählung mag darthun, dass es, von der verwickelten Bewegung der Himmelskörper ganz abgesehen, eine Fülle von Komplikationen gibt, durch welche das Gezeitenphänomen vielgestaltig und schwer übersichtlich gemacht wird. So kann es denn auch nicht wunder nehmen, dass alle Versuche, eine umfassende Theorie von Ebbe und Flut zu begründen, nur sehr langsam und allmählich zum Ziele führten. Ehe wir diesen Versuchen näher treten, gilt es, den Verlauf der Flutwelle zuvor noch mehr in seinen Einzelheiten festzustellen.

§. 10. **Zenit- und Nadirflut.** Von verschiedenen Punkten, auf welche ein Attraktionszentrum gleichzeitig wirkt, wird derjenige am stärksten angezogen, welcher jenem Zentrum am nächsten sich befindet. Am meisten wird folglich derjenige Punkt der Wasseroberfläche aus seiner normalen Lage herausgerückt werden, welcher das betreffende Zentrum in seinem Scheitelpunkte, im Zenit, hat. Dieser Zenitflut entspricht aber auch (vgl. S. 463) stets ein Ansteigen der Flut an jenem Punkte, welcher Antipodenpunkt (I, S. 139) des erstgenannten ist, und aus diesem Grunde stellt man der Zenitflut die Nadirflut [Nadir, arab. = Fusspunkt der Himmelskugel) gegenüber. Hochwasser haben mithin stets zwei um 180° Länge voneinander abstehende Punkte, deren geographische Breiten entgegengesetzt gleich sind.

Wir wissen nicht, ob schon vor Simon Stevin (I, S. 14) die Nadirflut als notwendige Konsequenz der Abhängigkeit der Gezeiten von der Mondstellung betont worden ist. Dieser niederländische Mathematiker stellt den Satz auf [258], „que la lune et son point opposé tirent et sucent continuellement l'eau du globe terrestre". Aus Newtons neuer Theorie [259], welche die Wasserumhüllung der Erdkugel von vornherein als ein gegen den anziehenden Himmelskörper sich verlängerndes Ellipsoid darstellte, folgt die Nadirflut von selber, und er hielt es kaum für erforderlich, besonders auf deren Vorhandensein aufmerksam zu machen. Immerhin mag dieser nur scheinbare Mangel es verschuldet haben, dass Parrot die Behauptung aufstellte [260], die Originalcharakteristik Newtons leide an dem Gebrechen, für die Gegenflut keine ausreichende Erklärung zu geben, eine Behauptung, welche Drobisch [261] an der Hand der Laplaceschen Theorie, die ja (s. u. in §. 11) nur eine Erweiterung der Newtonschen sein will, eingehend widerlegte.

Fig. 96.



Um die Thatsachen einfach vorzuführen, stellen wir uns vor, A'N'A'$_1$S, (Fig. 96) sei ein Hauptkreis der an sich sphärischen Erdfeste, welche von einem allerorts gleich tiefen Meere umgeben sein soll. Die ungestörte Grenzfläche A N A$_1$ S hat ebenfalls eine sphärische Gestalt; zieht man den Durchmesser A M A$_1$, so ist A A' = A$_1$ A'$_1$ die Meerestiefe. In der Verlängerung des genannten Durchmessers werden die beiden anziehenden Massen C und D (Mond und Sonne) angenommen.

Das Wasserteilchen bei A wird am stärksten angezogen und bewegt sich bis a, d. h. so weit, dass es an der Grenze anlangt, welche die erwähnten Anziehungskräfte auf der einen, die eigene Attraktion der Erde und die Kohäsionskraft des Wassers auf der anderen Seite der Bewegung setzen. Alle benachbarten Wasserteilchen bewegen sich gegen A, während die um 90° Bogendistanz entfernten, d. h. die bei S und N befindlichen, sich der Erdfeste nähern, indem sie bezüglich nach s und n rücken. Aa repräsentiert den Höchststand der Flutwelle; Ss und Nn sind die dem Ebbemaximum entsprechenden Wassertiefen. Die Wasserhalbkugel SAN hat sich in ein Wasserhalbellipsoid san verwandelt, und diesem muss, damit die Kontinuität der Flüssigkeitsmasse gewahrt bleibe, ein Halbellipsoid sa_1n auf der anderen Seite entsprechen. Die Strecke A_1a_1 ist hier die Fluthöhe, und es ist damit die Notwendigkeit einer Nadirflut durch die einfachsten hydrostatischen Erwägungen erhärtet, indem nur die allerdings bemerkenswerte Thatsache, dass Aa stets $> A_1a_1$ ist, vorläufig unbesprochen bleiben muss. Beschreibt man um M mit $Ms = Mn$ einen Kreis, welcher den Hauptdurchmesser bezüglich in m und n durchschneidet, so sind auf letzterem alle die in Betracht kommenden Strecken abgebildet: $AA' = A_1A'_1$ ist das normale Mittelwasser; $A'a$ ist die Höhe der Zenitflut, A'_1a_1 die Höhe der Nadirflut; $A'm$ und A'_1n sind die Tiefen, welche das Meer zur Zeit der tiefsten Ebbe aufweist.

Das Ellipsoid aSa_1n ist es also, welches zweimal des Tages sich vollständig herumdreht, so dass die grosse Achse AA_1 im Verlaufe von je 12 Stunden die volle Uhrzeigerbewegung ausführt. Wir haben den idealen Fall der Springflut vorausgesetzt; stehen C und D zum M in Quadratur, so wird nichts weiter an der Sache geändert, als dass $A'a$ und A'_1a_1 an Grösse ab-, $S's$ und $N'n$ an Grösse zunehmen. Ueber die qualitativen Verhältnisse gibt somit unsere elementare Betrachtung, welche in ähnlicher Weise zuerst Brandes [262] durchgeführt zu haben scheint, genügende Auskunft; die Berechnung der Grössenbeträge freilich kann auf diesem Wege nicht erfolgen.

§. 11. **Die Gezeitentheorien in ihrer historischen Entwickelung.** Eine zusammenhängende Darstellung dieses hochwichtigen Teiles der Geschichte der Geophysik fehlt uns leider noch immer. Auch dieser Paragraph will nicht als Ersatz für das Fehlende hingenommen werden; es sollen vielmehr nur diejenigen Anschauungen kurz erörtert werden, welche von anerkannt bedeutenden Männern der Wissenschaft geäussert worden sind.

Von Platon heisst es [263], er habe an eine Schaukelbewegung der die Erde umgebenden und deren Inneres (vgl. S. 376) in zahllosen Kanälen durchziehenden Gewässer geglaubt, wogegen Aristoteles die Gezeiten auf das Wehen gewisser Winde zurückgeführt haben soll [264]; dass beide grosse Denker nichts Authentisches in dieser Beziehung hinterlassen haben, wurde bereits erwähnt. Pytheas brach der richtigen Lehre von der Bedingtheit der Ebbe und Flut von den Mondstellungen, wie wir wissen (S. 462) die Bahn, ohne sich viel auf spekulative Erforschung des Zusammenhanges einzulassen. Aus Macrobius' und Johannes Damascenus' Andeutungen ist zu schliessen [265], dass Krates Mallotes, dessen Blütezeit um 150 n. Chr. anzusetzen ist, gelehrt habe, die Gezeiten seien das Ergebnis eines Gegendruckes (ἀντισπασμός) des Meeres; er stellte sich nämlich das Festland von einem Meeresringe umgeben vor, in welchem eine Nord- und Südströmung kursierten, und ein Zusammenprallen beider Strömungen sollte die Wassermassen nach oben streben lassen. Dem gegenüber fühlte Seleucus die Pflicht, den Mondeinfluss, der zu seiner Zeit allseitig anerkannt war, auch zu erklären, und dies leistete er durch Wiederaufnahme der aristotelischen Hypothese (s. o.) [266]; der Mond sollte, je nach seiner Entfernung, einen wechselnden Druck auf die Atmosphäre ausüben, die dann wieder die Hydrosphäre in Mitleidenschaft zöge. Auch das sonderbare Hirngespinst von einem Erdorganismus, der einem regelmässigen Atmungsprozesse unterworfen sei, taucht um diese Zeit bei den Stoikern auf [267]. Am weitesten in der Durchdringung des Geheimnisses der Tiden war unstreitig, soweit Strabons Zeugnis [268] uns zu urteilen gestattet, Posi-

donius fortgeschritten, der u. a. auch die Mitwirkung der Sonne richtig erfasste, die Thatsache, dass Phaseneintritte bestimmter Zusammengehörigkeit bei den Himmelskörpern und beim Meere doch nicht synchron sind (S. 463), scharf hervorhob und zwischen den gewöhnlichen Gezeiten und den durch andere physikalische Ereignisse hervorgerufenen Sturmfluten treffend unterschied. Leider haben schon die späteren Schriftsteller des Altertums, wie Plinius (S. 463), die Auffassung des Posidonius nicht mehr recht verstanden.

Soweit die arabischen Naturbeschreiber sich an die Antike halten, äussern sie sich recht vernünftig; dahin gehört, was Demitschki von der das Wasser hebenden Kraft der Sonne sagt [269]. Kazwîni aber sucht [270] bereits von Eigenem hinzuzuthun und stellt die merkwürdige Hypothese auf, die Mondstrahlen würden durch Reflexion vom Felsgrunde des Meeres erst wärmekräftig und erhitzten so beim Rücklaufe das Wasser, welches in seinem Bestreben, sich auszudehnen, über seine Ufer trete. Gasartige Auftreibungen, welche die See aufblähen und zum Steigen veranlassen sollten, spielten auch in der Meeresphysik der Scholastiker eine Rolle [271]. Mit der ihm und seinem Zeitalter wohl bekannten Thatsache, dass der Mond von einigem Einflusse ist, verbindet nach K. Werner [272] in selbständigem Gedankengange der geistvolle Wilhelm von Conches seine Neubelebung der Doktrin des Krates Mallotes (s. o.). Nur bei sehr hohen Wasserfluten sei der Mond der meistbeteiligte Faktor; im übrigen aber entsprängen aus dem grossen Wasserbehälter, welchen man in die Mitte der heissen Zone verlegte, je am Ost- und Westrande einer Hemisphäre zwei Strömungen, die im Zusammenstosse die gewöhnliche Flut erzeugten.

Unter den Neueren ist als Urheber einer selbständigen Theorie zuerst Galilei zu nennen, für den die Achsendrehung der Erde die primäre Ursache der Gezeiten war. Der Beginn der „Giornata quarta“ seiner berühmten „Unterredungen über die drei vornehmsten Weltsysteme“ handelt von den Gezeiten, und es ist eigentümlich, dass gerade Simplicio, der stete Vertreter hinfälliger Meinungen, den lunaren Einfluss verteidigt, worauf ihm Salviati — nach Strauss' deutscher Uebertragung — antwortet [273], „dass der Mond jeden Tag über das ganze Mittelländische Meer hinläuft, ohne das Wasser zu heben, ausgenommen am östlichen Ende und hier bei uns in Venedig“. Galileis eigene Beweisführung [274] steht begreiflicherweise nicht auf der Höhe der sonstigen Ausführungen seines berühmten Werkes, und das mag um so mehr auffallen, da die Ueberlegung [275], weshalb die Gezeitenbewegung am stärksten an den Enden, am schwächsten in der Mitte eines Meerbusens auftritt, den grossen Mann direkt bis zur Auffindung der Seiches als eines eigenen marinen Bewegungszustandes geführt hatte. Favaro, der beste Kenner dieser Dinge, hält denn auch dafür [276], Galilei habe seinen schon 1616 nachweislich vollendeten Dialog über Ebbe und Flut der Oeffentlichkeit vorenthalten, weil ihm später die mechanische Grundlage desselben nicht mehr fest genug erschien. Bacon von Verulam polemisierte gegen Galilei, hatte aber nur den sehr unzureichenden Ersatz zu bieten, dass die Gestaltung der Landmassen von Alter und Neuer Welt als wahre Ursache anzusehen sei [277]. Stevins Hypothese, welche der künftigen Erklärung durch kosmische Gravitation vorarbeitete, ist uns bereits bekannt (S. 467); nur darin zeigt sich noch die Unsicherheit des mit ganz neuen Begriffen operierenden Denkers, dass er es unentschieden lässt, ob Zug oder Druck das Aufsteigen der Gewässer bewirke. Für Druck sprach sich Descartes aus [278]; zwischen Mond und Erde kreist ein Wirbel von Aethermaterie, den ersterer zusammendrückt, so dass das Meerwasser seitlich ausweichen muss. Der Mond veranlasst nach Cartesius somit nicht sowohl das Hoch- als vielmehr das Niedrigwasser. Die verhältnismässig klarste Denkweise tritt uns bei Kepler entgegen, der zwischen Mond und Ozeanen eine magnetische Attraktion wirksam dachte und für mehrere Einzelheiten des Gezeitenphänomenes eine durchaus zutreffende Interpretation gab [279]. Er legte darauf mit Recht Gewicht und rühmte sich [280], als der erste den Verlauf der Gezeiten in seiner Abhängigkeit vom Mondlaufe ins richtige Licht gestellt zu haben. Um so merkwürdiger müsste man es finden, dass gerade Kepler nachmals die stoische Irrlehre von der Atmung des Erdtieres wieder auffrischen konnte [281], wüsste man nicht, dass dem überaus geistvollen Manne das Spielen mit Analogien und Vergleichen förmlich zur anderen Natur geworden war. Beiläufig wollen wir bemerken, dass auch noch späterhin, bei Goethe [282] und bei dem Naturphilosophen Hugi [283], die Atmungsbewegung des grossen Erdtieres die Gezeiten erzeugt, bei ersterem freilich nur als vorübergehender Einfall, der nicht allzu ernst genommen sein wollte.

Auch das folgende Geschlecht von Gelehrten des XVI. Jahrhunderts gelangte über Kepler nicht hinaus, blieb vielmehr eher hinter ihm zurück. Gassendis Abhandlung [284] „De motu impresso a motore translato“ knüpft in dieser Angelegenheit an Galileis Ansichten an. Der Hydrograph Fournier lässt seinen Lesern die Wahl [285]: Die Auffassung von Galilei-Gassendi, die Schwammtheorie Platons (S. 468) und die lange Zeit recht beliebte Vorstellung von der Aufblähung der Meere durch aus der Erdfeste aufsteigende Gasmassen werden zur Auswahl vorgelegt, ohne dass wir deshalb über einen Gelehrten, der eben ein Kind seines Zeitalters war, mit Peschel [286] ein absprechendes Urteil fällen möchten. Der gewiss sehr strebsame Riccioli behilft sich z. B. auch mit der Anziehung, welche angeblich die Sonne auf die Dünste des Meerwassers ausübe [287]. Recht wenig will auch die mathematisch aufgeputzte Hypothese von Wallis [288] besagen, wonach die Kurve, welche der gemeinsame Schwerpunkt des Systemes Erde-Mond beschreibt, in ihrer wechselnden Lage zu der vom Erdmittelpunkte zurückgelegten elliptischen Bahn Bewegungen der Ozeane einleiten sollte. Man kann sich kaum darüber wundern, dass manchen — auch der treffliche Varenius [289] gehört zu ihnen — die cartesische Wirbeltheorie immer noch den besten Erklärungsgrund abzugeben schien.

Die Lehre Newtons von einer universellen Massenanziehung (I, S. 163) schuf zuerst die Möglichkeit, an die Stelle vager Redewendungen präzise Begriffe treten zu lassen. Newton ist der Begründer einer wahrhaft wissenschaftlichen Gezeitentheorie, und fast alle seine Nachfolger, mochten sie auch — wie L. Euler — gegen die Lehre von der Fernewirkung als „qualitas occulta“ das grösste Misstrauen hegen, gingen von den nämlichen Grundsätzen aus. Er schied die Einwirkungen von Mond und Sonne mit voller Klarheit aus und stellte insbesondere die mathematischen Beziehungen auf [290], mittelst deren die Beträge der reinen Mond- und der reinen Sonnenflut sich bestimmen lassen.

Insbesondere ergibt sich daraus ohne weiteres, um wieviel die Zenitalflut die Nadirflut übertrifft, wenn man die Fluthöhen den anziehenden Kräften proportional annimmt. Wenn $\rho = AM = A_1M$ (Fig. 96) den Radius der ungestörten Wasserkugel, $\delta = MC$ die Entfernung der anziehenden Maſse m vom Erdmittelpunkte, k (I, S. 163) die Gravitationskonstante vorstellt, so ist die Differenz Δ der in A und A_1 auf die Masseneinheit wirkenden Anziehungskräfte folgendermassen gegeben:

$$\Delta = km\left[\left(\delta - \rho\right)^{-2} - \left(\delta + \rho\right)^{-2}\right] = \frac{km}{\delta^2}\left[\left(1 - \frac{\rho}{\delta}\right)^{-2} - \left(1 + \frac{\rho}{\delta}\right)^{-2}\right].$$

Entwickelt man nach dem binomischen Lehrsatze und lässt die höheren Potenzen weg, da $\rho : \delta$ ein sehr kleiner Bruch ist, so wird

$$\Delta = 4\,km\,\rho : \delta^3.$$

Die Differenz der die Zenit- und Nadirflut erzeugenden Kräfte ist umgekehrt proportional der dritten Potenz der Entfernung der anziehenden Masse vom Erdzentrum.

Bis zum Jahre 1740 blieb man in der Hauptsache bei dem stehen, was Newton neu geschaffen hatte. Damals stellte die Pariser Akademie eine auf die Vervollkommnung der Gezeitenlehre abzielende Preisfrage, in deren Beantwortung sich mit A. Cavalleri, einem Anhänger des Cartesius (s. o.), drei der ersten Geometer ihrer Zeit, Maclaurin, L. Euler (s. o.) und D. Bernoulli teilten [291]. Die letzteren drei bewegten sich, trotz der Verschiedenheit der angewandten Methoden, wesentlich auf gleichem Boden; ihnen dankt seine Entstehung, was man heute als statische Theorie der Ebbe und Flut bezeichnet. Von der Wasserbewegung wird dabei zunächst Abstand genommen, und die Problemstellung vereinfacht sich erheblich; es wird nämlich gefragt, welches die geometrische Gestalt der Oberfläche einer homogenen Wassermasse ist, auf welche gewisse anziehende Körper nach dem Newtonschen Gesetze wirken. Darüber ging weit Laplace hinaus, der die zu lösenden Aufgabe als eine solche der Undulationstheorie formulierte [292] und so die eigentlichen Urheber der gegen-

wärtig freilich ungleich mehr den wirklichen Verhältnissen angepassten dynamischen Theorie der Ebbe und Flut wurde. Er kam zu dem Schlusse, dass jedes Wasserteilchen in jedem Zeitpunkte Impulse zu drei verschiedenen Schwingungen empfängt, durch deren Kombination die thatsächliche Wellenbewegung entsteht.

Die Untersuchungen der grossen Mathematiker des XVIII. und beginnenden XIX. Jahrhunderts haben den Gegenstand auf eine solche Höhe gebracht, dass erst seit den fünfziger Jahren dieses Jahrhunderts, wie die nächsten Paragraphen bekunden werden, ernstliche Fortschritte über den damals erreichten Standpunkt hinaus gemacht werden konnten. D. Bernoullis Verfahren, die Eintrittszeiten der Fluthöhen zu berechnen, dient, wie Zöppritz bemerkt [293], noch in unseren Tagen der Herstellung von Gezeitentafeln; in gemeinverständlicher Weise ist dasselbe von Weyer [294] auseinandergesetzt worden. Doch dauerte es längere Zeit, bis die erwähnten Errungenschaften auch von weiteren Kreisen aufgenommen und verstanden wurden. Noch 1769 musste Kies [295] ausführlich erläutern, was doch schon Stevin (S. 469) richtig erkannt hatte, weshalb kleinere Wasserbecken keine gezeitenartige Erscheinungen aufweisen können, und die einschlägigen Diskussionen [296] von Hube, Fulda und J. C. Fischer dokumentieren sehr einleuchtend, dass man sich nur schwer von veralteten Lehrmeinungen, wie z. B. von der, dass die Erdrotation ein massgebender Faktor bei der Auslösung der grossen Flutwelle sei, loszumachen vermochte. Es sei gleich hier erwähnt, dass diese Hereinziehung der Achsendrehung als eines ursächlichen Momentes völlig zu verwerfen ist, dass aber auf den Verlauf der Tiden ein Umstand, den wir früher (I, S. 239) vielseitiger Erwägung unterzogen, Einfluss äussern kann. Da auf der Nordhalbkugel der rotierenden Erde alle Horizontalbewegungen nach rechts und auf der Südhalbkugel ebenso nach links abgelenkt werden, durfte Maclaurin (s. o.) mit Fug behaupten [297], die Gezeitenbewegung sei auf der bewegten Erde von derjenigen auf einer ruhenden einigermassen verschieden, und W. Thomson [298] glaubte in der That ein Rechtsdrängen der in den Kanal eintretenden Gezeitenwelle durch untrügliche Kennzeichen konstatieren zu können.

Als eine Fortbildung unserer Theorie, die zwar sachlich von unzureichenden Gründen veranlasst war, trotzdem aber ein neues Ferment in dieselbe hineintrug und viele wertvolle Studien inaugurierte, ist die durch Lubbock [299] und Whewell [300] bewirkte Einführung der Kotidallinien (Linien gleicher Flutphase) hervorzuheben. H. Berghaus [301] benannte dieselben Isorachien (besser Homorachien; ῥαχία, Flut), während Krümmel und Leipoldt [302] auch den Namen Homopleroten (πληροῦν, füllen) in Vorschlag brachten. Doch eignete sich auch Krümmel [303] später die einfache, von Börgen herrührende Bezeichnung Flutstundenlinien an. In Deutschland dürfte Germar [304] zuerst der neuen Auffassung von Lubbock und Whewell die Bahn gebrochen haben.

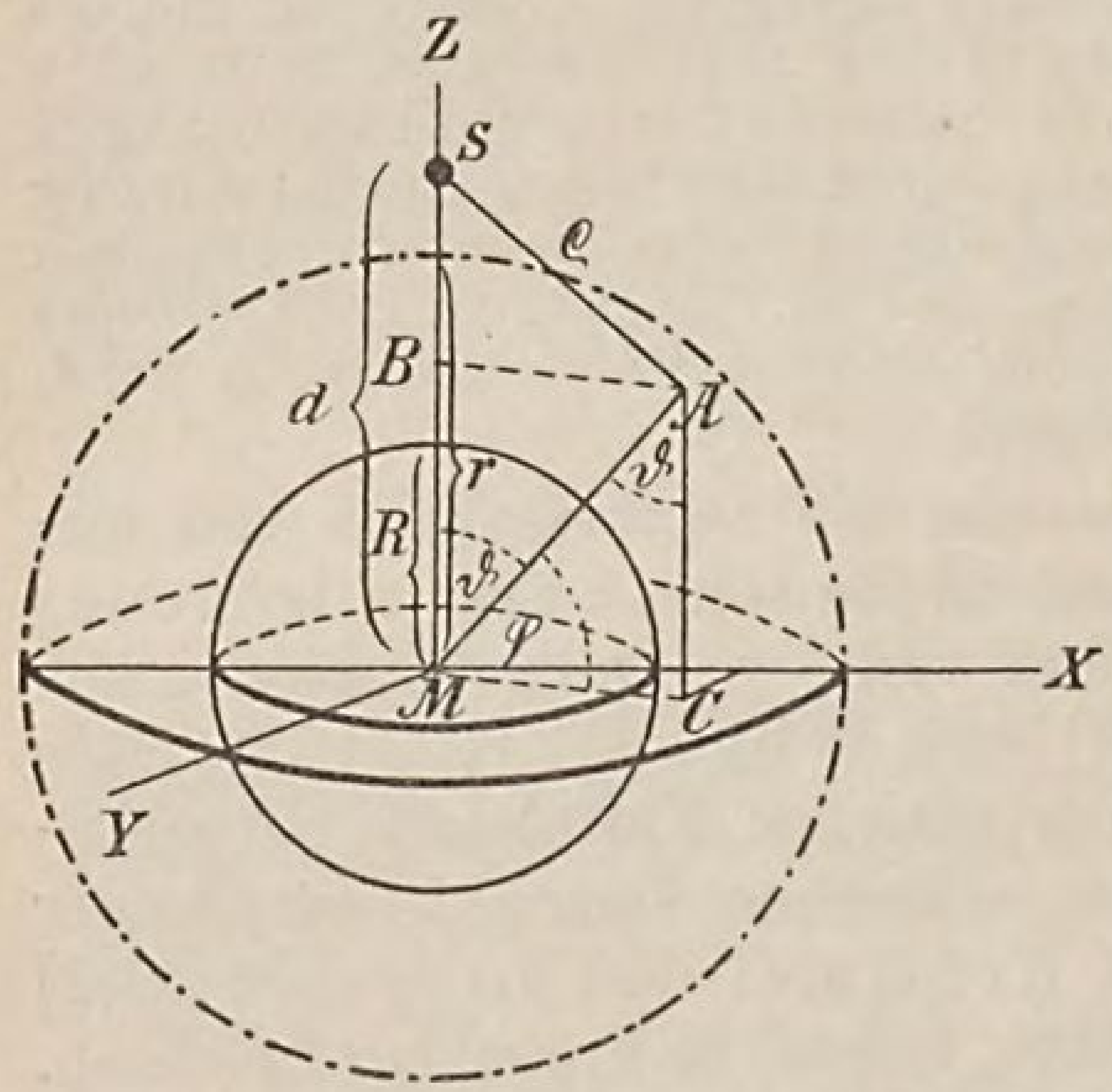
Die beiden englischen Physiker gingen derart zu Werke, dass sie sich eine möglichst grosse Anzahl von Beobachtungen verschafften und diese homogen zu machen suchten; darauf wurden diejenigen Punkte durch Kurven verbunden, für welche das zu einer der beiden lunaren Syzygien gehörende Hochwasser gleichzeitig eintritt. Solange, wie es auch ursprünglich allein im Plane lag, diese Linien ausschliesslich für die Grossbritannien umgebenden Meere konstruiert wurden, waren sie für die seemännische Praxis von entschiedenem Werte, wie sie dies auch heute noch sind. Als aber Whewell seine Konstruktion auch auf die Weltmeere ausdehnte, scheiterte er an der Schwierigkeit seines Unternehmens, wie er dies auch ausdrücklich anerkannte [305]. Gestützt auf seine ziemlich imaginären Kotidalen des Grossen Ozeans, hatte er zuvor die These aufgestellt: Der Pazifik, als das grösste aller Meere, welches demgemäss auch Schauplatz der grössten Wellen sein muss, ist die eigentliche Heimat aller Gezeitenwellen, insbesondere auch derjenigen, welche an die englische Küste gelangen. Dass diese Auffassung unhaltbar ist, bezeugt für sich allein schon (S. 458) die Existenz wirklicher Gezeiten in Binnenmeeren und Inlandseen.

Unlängst jedoch ist durch Ortt [306] auch der direkte Beweis gegen die Whewellschen Annahmen erbracht worden. Wenn zwei Gezeitenwellen, so zeigte er, in derselben See entstanden sind, so lässt sich in den Amplituden der ganz- und halbtägigen Wellentypen ein konstantes Verhältnis erkennen. Dringt dagegen eine im Seebecken a hervorgebrachte Gezeitenwelle in ein anderes Becken b ein, und untersucht man wieder die oben angegebenen Verhältniszahlen, so ergibt sich, dass auch im Bereiche von b die Wellentypen die Signatur der heimischen See a an sich tragen und sich zu denen von b nicht in ein einfaches Verhältnis bringen lassen. Begegnen sich zwei bezüglich aus a und b stammende Wellen, so treten unregelmässige Veränderungen in den Ziffern zu Tage.

Jede See ist somit Entstehungsort eines eigenen, selbständigen Systemes von Gezeitenwellen, sofern sie gross genug ist. Für beschränkte Meeresräume haben deswegen auch Diagramme der Flutstundenlinien ihren guten Sinn. Dagegen ist der Versuch prinzipiell verfehlt, regionale Gezeitenwellen auf einen weit entfernten Ursprungsort zurückführen zu wollen.

§. 12. **Die modernen Gezeitentheorien.** Wie schon bemerkt, eignet der statischen Theorie, wenn sie auch absichtlich nicht ein treues Bild von den wirklichen Bewegungen entwerfen will, und wenn sie auch, wie z. B. F. Neumanns Berechnung der Fluthöhen [307] darthut, den quantitativen Verhältnissen nicht entsprechen kann, noch immer eine gewisse Bedeutung, und mit ihrer Kennzeichnung soll folglich die Darstellung des Wissens der Gegenwart beginnen. Nächstdem müssen Airys Kanaltheorie und Ferrels Schwankungstheorie unsere Aufmerksamkeit auf sich ziehen. Die wirklichen Vorgänge aber stellt unzweifelhaft die an Laplace (S. 470) anknüpfende dynamische Theorie dar, welche die fast unzähligen Einzelschwingungen eines jeden Wasserteilchens für sich betrachtet und aus ihnen die Gezeiten selbst zusammensetzt.

Fig. 97.



a) Die statische Theorie. Unter möglichst einfachen Voraussetzungen geben wir nachstehend, im Anschlusse an Airy [308], die Elemente dieser Theorie. M (Fig. 97) ist der Erdmittelpunkt, S das entfernt liegende Attraktionszentrum, A ein Punkt der irdischen Wasserhülle. Wir legen durch M als Anfangspunkt ein rechtwinkliges Koordinatensystem so, dass die Z-Achse durch S hindurchgeht, und fügen einstweilen noch die besondere Bedingung hinzu, auch die beiden Erdpole befänden sich auf dieser Achse. Die drei Koordinaten von A sind dann, wenn noch r den Halbmesser der Wasserkugel bedeutet, und wenn $\varphi = 90^\circ - \vartheta = 90^\circ - \sphericalangle AMS$ gesetzt wird, die folgenden: $x = r \cos\psi \cos\varphi$, $y = r \sin\psi \cos\varphi$, $z = MB = r \sin\varphi$; mit ψ ward der Winkel bezeichnet, welchen die Projektion des Fahrstrahles AM auf die XY-Ebene in dieser mit der X-Achse einschliesst. Verbinden wir A mit S durch eine Gerade und setzen $AS = \rho$, $MS = d$, so folgt aus dem rechtwinkligen Dreieck ABS

$$\rho = \sqrt{x^2 + y^2 + (d - z)^2}.$$

Δ sei ferner die mittlere Dichte (I, S. 196) der Erde, Δ' die mittlere Dichte des Meerwassers, E die vereinigte Masse von Erdfeste und Meeren, R der Halbmesser

der festen Erdkugel. Die Anziehung Σ, welche die Masse in S, die wir selbst S nennen wollen, auf die Masseneinheit bei A ausübt, wird, wenn statt k in seiner obigen Bedeutung die Einheit eintritt, durch $\Sigma = S\,[x^2 + y^2 + (d - z)^2]^{-1}$ auszudrücken sein. Diese Grösse zerlegen wir nach den Achsen in ihre drei Komponenten Σ_x, Σ_y, Σ_z, indem wir sie mit den sogenannten Richtungscosinus $(-x : \rho)$, $(-y : \rho)$, $(-z : \rho)$ multiplizieren. So erhalten wir die drei Komponenten

$$\Sigma_x = -\frac{S}{[x^2+y^2+(d-z)^2]^{3/2}},\ \Sigma_y = -\frac{S}{[x^2+y^2+(d-z)^2]^{3/2}},\ \Sigma_z = -\frac{S\,(d-z)}{[x^2+y^2+(d-z)^2]^{3/2}}.$$

Da der Erdradius gegen d sehr klein ist, kann man leicht zu einer rasch konvergierenden Reihenentwickelung gelangen. Man hat

$$[x^2 + y^2 + (d - z)^2]^{-3/2} = \frac{1}{d^3}\left(1 - \frac{2z}{d} + \frac{x^2 + y^2 + z^2}{d^2}\right)^{-3/2}$$

$$= \frac{1}{d^3}\left(1 + \frac{3z}{d} + \frac{12z^2 - 3x^2 - 3x^2}{2d^2}\right),$$

wie sich sofort durch Anwendung des binomischen Lehrsatzes findet. Setzt man diesen abgekürzten Wert oben ein und sieht wieder von allen Gliedern d^{-m} $(m > 4)$ ab, so nehmen die Komponenten folgende Werte an:

$$\Sigma_x = -\frac{Sx}{d^3} - \frac{3Sxz}{d^4},\quad \Sigma_y = -\frac{Sy}{d^3} - \frac{3Syz}{d^4},\quad \Sigma_z = \frac{S}{d^2} + \frac{2Sz}{d^3}$$

$$+ \frac{S\,(6z^2 - 3x^2 - 3y^2)}{2d^4}.$$

Bringen wir bei lezterer Seitenkraft, wie wir dies thun müssen, die wechselseitige Attraktion zwischen S und der Erde mit dem negativen Zeichen in Rechnung, so hebt sich das erste der drei Glieder fort. Die gestörte Wasserfläche soll im Geiste der statischen Theorie als Niveaufläche (I, S. 210) sich darstellen; dann muss, wie die analytische Mechanik beweist, der Ausdruck $(\Sigma_x\,dx + \Sigma_y\,dy + \Sigma_z\,dz)$ ein vollständiges Differential sein, d. h. es muss eine Funktion U von der Beschaffenheit existieren, dass jede der Komponenten einen partiellen Differentialquotienten von U nach x, y, z vorstellt; dies vorausgesetzt, ist U = Konst. die Gleichung der gesuchten Gleichgewichtsfläche. Zunächst ist noch der Anziehung Rechnung zu tragen, welche die feste Erde auf die Masseneinheit in A ausübt; dieselbe ist, unter R deren Radius verstanden,

$$\frac{4R^3\,\Delta\,\pi}{3(x^2 + y^2 + z^2)}.$$

Bildet man hievon die Komponenten und kombiniert sie mit den schon vorhandenen, so entstehen folgende neuen Gleichungen:

$$\frac{\partial U}{\partial x} = -\frac{4R^3\,\Delta\,\pi\,x}{3\,(x^2 + y^2 + z^2)^{3/2}} - \frac{Sx}{d^3} - \frac{3Sxz}{d^4},$$

$$\frac{\partial U}{\partial x} = -\frac{4R^3\,\Delta\,\pi\,x}{3(x^2 + y^2 + z^2)^{3/2}} - \frac{Sy}{d^3} - \frac{3Syz}{d^4},$$

$$\frac{\partial U}{\partial z} = -\frac{4R^3\,\Delta\,\pi\,z}{3\,(x^2 + y^2 + z^2)^{3/2}} + \frac{2Sz}{d^3} + \frac{S(6z^2 - 3x^2 - 3y^2)}{2d^4}.$$

Aus diesen drei Differentialquotienten folgt die Funktion selbst:

$$U \equiv \frac{4R^3\,\Delta\,\pi}{3(x^2 + y^2 + z^2)^{1/2}} + \frac{S\,(2z^2 - x^2 - y^2)}{2d^3} + \frac{S\,(2z^3 - 3x^2z - 3y^2z)}{2d^4} = \text{Konst.}$$

Die Abweichung der Niveaufläche von einer Kugelfläche ist jedenfalls keine sehr beträchtliche; wenn also $\sqrt{x^2 + y^2 + z^2} = r + q$ gesetzt wird, so ist q klein genug, um seine höheren Potenzen vernachlässigen zu dürfen, und damit ist auch

$$x^2 + y^2 + z^2 = r^2 + 2rq,\quad 2z^2 - x^2 - y^2 = 3z^2 - (x^2 + y^2 + z^2) = 3z^2 - r^2,$$

$$z\,(2z^2 - 3x^2 - 3y^2) = z\,(5z^2 - 3z^2 - 3x^2 - 3y^2) = z(5z^2 - 3r^2),$$

$$\frac{1}{(x^2 + y^2 + z^2)^{1/2}} = \frac{1}{r + q} = \frac{1}{r}\left(1 - \frac{1}{(r + q) : q}\right) = \frac{1}{r} - \frac{q}{r^2}.$$

Durch fortgesetzte Substitution ergibt sich, wenn q allein auf die linke Seite gebracht und mit C eine Konstante bezeichnet wird,

$$q = r - \frac{3Cr^2}{4R^3 \Delta \pi} + \frac{3r^2}{4R^3 \Delta \pi} \cdot \left[\frac{S(3z^2 - r^2)}{2d^2} + \frac{Sz(5z^2 - 3r^2)}{2d^4}\right].$$

Die beiden ersten Glieder rechts liefern eine neue Konstante C', die sich sofort durch die Ueberlegung bestimmt, dass die Gesamtmenge des einmal vorhandenen Wassers durch die Anziehung nicht alteriert wird. Multiplizieren wir zur Rechten jedes Glied mit $2r\pi dz$ und integrieren, so müssen wir diese Menge erhalten. Die Integration zwischen den Grenzen $\pm r$ führt darauf, dass $C' = 0$ ist, und daraus folgt für q ein abgekürzter Wert. Wir setzen (s. o.) $z = r \sin\varphi$ und finden

$$q = \frac{3r^4}{4R^3 \Delta \pi} \cdot \left[\frac{S}{2d^3}(3\sin^2\varphi - 1) + \frac{rS}{2d^4}\sin\varphi\,(5\sin^2\varphi - 3)\right].$$

Der zweite Summand fällt wenig ins Gewicht, so dass mithin die Fluthöhe

$$q = \frac{3r^4 S}{8R^3 d^3 \Delta \pi}(3\sin^2\varphi - 1)$$

gesetzt werden darf. Der Wert q wird in zwei Fällen zu Null: einmal, wenn $S = 0$ ist, wenn es also überhaupt keinen anziehenden Körper gibt, und sodann wenn $3\sin^2\varphi = 1$ wird. Allerdings aber, darauf haben wir jetzt zurückzukommen, gilt unsere Rechnung zunächst nur für den — thatsächlich nicht vorkommenden — Fall, dass sich der Schwerpunkt des anziehenden Körpers in der Verlängerung der Umdrehungsachse der Erde befindet. Aus Airys Rechnungen folgt aber, dass, wenn die Z-Achse eine völlig willkürliche Lage hat, der Wert für q zwar sehr viel verwickelter ausfällt, dass aber gleichwohl jener Ausdruck, zu welchem wir uns geführt sahen, das erste, der Grösse nach weitaus am meisten ins Gewicht fallende Glied einer rasch konvergierenden Reihenentwickelung darstellt.

Mit Rücksicht hierauf darf man, da aus der Gleichung $\sin^2\varphi = 1/3$ sich sofort für φ der Wert $\pm\varphi = 35^0\,16'$ findet, ein allgemeines Gesetz formulieren. Zufolge der statischen Gezeitentheorie kommt den beiden Parallelkreisen von $35^0\,16'$ nördlicher und südlicher Breite die Eigenschaft zu, durch die Attraktion des die Flut erzeugenden Gestirnes fast gar nicht beeinflusst zu werden. Wir haben beide Kreise als Knotenlinien der Atmosphäre bereits (S. 237) kennen gelernt und lösen jetzt das damals gegebene Versprechen ein, dieselben auch als Knotenlinien der Hydrosphäre nachzuweisen. Insofern auch die feste Erde, soweit sie der Gezeitenbewegung nachgeben muss, in gleicher Lage sich befindet, kann allgemein von Knotenlinien der Erde gesprochen werden, als welche dieselben schon früher [309] allgemeinerer Beachtung anempfohlen wurden.

Die Annahme, dass die ganze Erdkugel gleichförmig von Wasser bedeckt sei, ist freilich unrichtig und trübt einigermassen das soeben erhaltene Resultat. Bis zu einem gewissen Grade wirkt ausgleichend, wenn man den charakteristischen Wert von φ nicht gleich arc sin $\sqrt{1:3}$, sondern gleich arc sin $\sqrt{(1+\delta):3}$ setzt, wie dies Auerbach [310] des näheren ausgeführt hat. Unter δ wird der Mittelwert des Ausdruckes $(3\sin^2\varphi - 1)$ für den mit Wasser thatsächlich bedeckten Teil der betreffenden Hemisphäre verstanden. Die Knotenlinien verschieben sich dann etwas: für die nördliche und südliche Halbkugel wurden bezüglich die folgenden Werte gefunden: $\delta = -0{,}1584$, $\varphi = 32^0\,59'$; $\delta = +0{,}0893$, $\varphi = 37^0\,3'$. Dass die Abweichung für die Wasserhalbkugel geringer als für die Landhalbkugel ausfallen werde, liess sich voraussehen.

Alles in allem ist nach Airy [311], so entschieden auch der Gedanke verworfen werden muss, als vermöge die besprochene Theorie die Vielgestaltigkeit des Gezeitenphänomenes treffend zu erklären, der Nutzen dieser Theorie doch kein geringer. Man kann mit ihrer Hilfe eine klare Vorstellung von den wichtigsten

einzelnen Modalitäten der Ebbe und Flut geben, und auch die mathematische Einkleidung ist wesentlich vorbildlich geblieben, so weit man auch über die schematische Auffassung der ersten, Newtonschen Periode hinausgehen musste. „The greatest mathematicians and the most laborious observers of the present age have agreed equally in rejecting the Foundation of this theory and comparing all their observations with its Results.“

b) **Die Kanaltheorie.** Auch Laplaces Behandlung des Gegenstandes erschien Airy [312] völlig unzureichend, weil bei ihr nicht minder Voraussetzungen gemacht seien, welche sich von der Wirklichkeit allzu weit entfernten. Und deshalb stellte der berühmte englische Astronom eine ganz neue Theorie auf [313]: Die Gezeitenwelle bewege sich so, wie überhaupt Wellen in Kanälen sich bewegen. In eine gemeinverständliche Form hat Airys analytische Entwickelungen Börgen [314] gebracht, an dessen Darstellung auch diejenige Krümmels [315] sich anschliesst.

Wir denken uns einen schmalen Kanal, der, einem Hauptkreise folgend, sich rings um die Erde herumzieht. In diesem Kanale werden durch die Anziehung der Himmelskörper zwei halbtägige Flutwellen erzeugt, deren Länge jeweils dem halben Umfange des Erdballes gleichkommt. Beide Wellen setzen sich in bekannter Weise zu einer resultierenden Welle zusammen. Falls der Kanal mit dem Aequator zusammenfällt, schreitet die Welle, mit allerwärts gleicher Höhe, als Einsiedlerwelle (S. 443), durch den ganzen Kanal hin fort; gehören letzterem umgekehrt die beiden Pole an, so wird sich eine stehende Welle herausbilden, indem die Pole mit den Durchschnittspunkten von Kanal und Aequator bezüglich des Hoch- und Niedrigwassers abwechseln. Aus der Betrachtung dieser beiden Grenzfälle lässt sich sofort der — durch die Rechnung bestätigte — Schluss ziehen, dass die progressive Welle, welche entsteht, wenn der Kanalkreis eine willkürliche Lage auf der Erde hat, an verschiedenen Punkten eine verschiedene Höhe und auch eine verschiedene Fortpflanzungsgeschwindigkeit haben wird. Dasselbe wird der Fall sein, wenn man dem grössten Kreise einen beliebigen kleinen Kugelkreis substituiert, indem die Wellenlänge auch wieder der halben Peripherie dieses Kreises gleich sein wird.

So verhält es sich, solange die Tiefe des — auch im übrigen geometrisch regelmässig gedachten — Kanales sich überall gleich bleibt; die Welle ist eine gezwungene (Forced Wave), und in ihren sämtlichen Elementen macht sich einzig und allein der von aussen kommende Impuls geltend. Aendert sich aber von den drei Bestimmungsstücken des Kanales, Breite, Tiefe und Richtung, auch nur eines, so kombiniert sich mit der gezwungenen eine am Orte der Aenderung entstehende freie Welle (Free Wave) [316]. Je tiefer und gleichförmiger begrenzt ein Meer ist, um so mehr werden die darin kursierenden Gezeitenwellen als gezwungen angesehen werden dürfen, um so mehr werden auch Airys Sätze für ihre Bewegung zutreffend sein; im flachen Küstenwasser dagegen wird allein noch die freie Welle zu berücksichtigen sein. Allein davon abgesehen, dass auch diese Auffassung in der Natur nicht immer Stich hält, ist sie doch von hohem Werte, weil der Wert, den Airy [317] für die aktuelle Fluthöhe findet, uns darüber belehrt, wie dieses wichtige Element von den Stellungen des die Gezeit verursachenden Himmelskörpers abhängt.

Die Fluthöhe ist angenähert eine Summe aus den drei Summanden a, b, c. Das Glied a ist ausschliesslich bedingt durch die Deklination, den sphärischen Aequatorabstand, des betreffenden Gestirnes; den Deklinationsgezeiten eignet eine lange Periode. Das Glied b ist zwar auch eine Funktion der Deklination, aber einflussreicher wirkt auf b ein der Winkel Θ, welchen der Deklinationskreis des Gestirnes am Pole mit jenem grössten Kreise macht, der den sphärischen Himmelspol des Kanalkreises mit dem Himmelspole verbindet. Die durch b bestimmten Wellen besitzen, da Θ im Laufe von 24^h alle Werte zwischen 0^0 und 360^0 annehmen kann, eine eintägige Periode, sind ein-

tägige Gezeiten. Als halbtägige Gezeiten endlich sind die dem Summanden c entsprechenden Wellen anzusprechen, denn in dem fraglichen Ausdrucke ist 2Θ ausschlaggebend, und dieser Winkelwert variiert zwischen 0^0 und 360^0 je zweimal am gleichen Tage. Will man die wahre Fluthöhe haben, so hat man die Lunar- und die Solarformel für sich aufzustellen und die rechts des Gleichheitszeichens stehenden Werte durch Summation zu vereinigen.

c) **Die Schwankungstheorie.** In Uebereinstimmung mit älteren Andeutungen, die sich bei Young [318] und Dove [319] nachweisen lassen, verfiel Ferrel [320] darauf, die Gezeitenwellen als stehende Schwingungen, als Seiches (S. 457) zu definieren. Auch diese Theorie hat Krümmel [321] übersichtlich geschildert.

Wir sahen oben (S. 464), dass allerdings gewisse da und dort vorkommende Anomalien, denen nach Kassners Berechnung [322] insonderheit auch die nach der „Gazelle“ (S. 403) in Melanesischen Archipelen die Regel bildenden Eintagsgezeiten zuzuzählen sein möchten, ganz von selbst eine Interpretation auf Grund der für die stehenden Schwingungen ermittelten Gesetze zu fordern scheinen. So hat denn auch Ferrel die Meriansche Formel (S. 459) nicht bloss auf die Beobachtungen an der pazifischen Küste angewandt, sondern auch nach derselben eine uninodale Schwankung des Atlantischen Ozeans zwischen Irland und Neu-Fundland herausgerechnet. Insbesondere schien sich so ziemlich einfach eine Erklärung für die mehrfach (vgl. S. 464) bemerkte Thatsache erbringen zu lassen, dass an manchen Orten die an sich weit schwächere Solarflut sehr deutlich, die stärkere Lunarflut aber so gut wie gar nicht hervortritt. Zwei solche Orte sind [323] Courtown an der Ostküste Irlands und Papiti auf der Insel Tahiti, für welch letztere bereits durch Belcher [324] auffallende Unregelmässigkeiten sichergestellt worden waren; auch van der Stok, dessen Bearbeitung der Gezeiten [325] für die südostasiatischen Gewässer in jeder Hinsicht grundlegend genannt werden muss, hat in seinem Bereiche solche Fälle wahrgenommen. Man könnte sagen: Der fragliche Platz befindet sich in nächster Nähe eines Knotenpunktes der Lunarseiche, während ebendort die Solarseiche sich im Maximum ihrer Abweichung von der Normallage befindet. Aber selbst dann, wenn man sich dieser bestehenden Vermutung zuneigen wollte, würde man es nur mit Ausnahmen, nicht aber mit Regeln zu thun haben, welche für den Aufbau eines selbständigen Lehrgebäudes der Gezeiten eine ganz feste Grundlage abzugeben geeignet wären. Die Schwankungstheorie ist denn auch von keiner Seite als Ersatz hingenommen worden, und sie konnte dies auch um so weniger, da eine wirklich befriedigende, die natürlichen Vorkommnisse mit grosser Treue im Zahlenbilde wiedergebende Theorie inzwischen geschaffen wurde und durch zahlreiche Anwendungen den vollgültigen Nachweis ihrer Berechtigung erbracht hat. Dies ist

d) **Die dynamische Theorie**, um deren Begründung und Verfeinerung sich zwei berühmte englische Mathematiker, W. Thomson [326] (Lord Kelvin, vgl. I, S. 62) und G. H. Darwin [327], die grössten Verdienste erworben haben. Man spricht auch, indem man die britische Bezeichnung für die Entwickelung periodischer Funktionen nach trigonometrischen Reihen adoptiert, von einer harmonischen Analysis der Gezeitenerscheinungen (vgl. S. 80); die Begriffsbestimmung ist in populärer Darstellung von Nippold [328] erläutert worden. Anweisung zur Handhabung der einschlägigen kalkulatorischen Hilfsmittel erteilen Peters [329] und Luksch-J. Wolf [330], während in noch allgemeinerem Sinne Börgen [331] den gesamten Apparat dieses verwickelten Rechnungsmechanismus erläutert hat. Krümmel [332] hat sich mit Glück bestrebt, die Grundgedanken des Verfahrens, losgelöst von der analytischen Einkleidung, als eine natürliche Konsequenz der Thatsache darzustellen, dass die mannigfachen Abweichungen

der Gezeiten von der festen Norm die natürliche Folge des selbst viele Unregelmässigkeiten in sich schliessenden Laufes der Himmelskörper sind.

Als einfache harmonische Bewegung definieren die englischen Physiker — wir verweisen auf die Abschnitte über Gezeitenlehre bei Thomson-Tait [333] — eine periodische, geradlinige Bewegung eines materiellen Punktes, der um eine stabile Ruhelage oszilliert, so dass seine augenblickliche Geschwindigkeit in der Bewegung vom und zum Ruhepunkte durch den Ausdruck $ac \sin [(\pi t : T) - \varepsilon]$ gegeben erscheint; a, die Amplitude, ist die grösste Entfernung von jenem Punkte, welche der variable Punkt überhaupt erreichen kann, T die Periode, t die der betreffenden Phase entsprechende Zeit, c und ε sind konstante Grössen, deren letztere als Epoche bezeichnet wird. Wir denken uns eine Anzahl paralleler Geraden, die durch eine auf ihnen sämtlich senkrecht stehende Gerade G verbunden sind, und jeder der Durchschnittspunkte soll zugleich Ruhepunkt für eine oszillatorische Bewegung der bezeichneten Art sein, welche längs einer jeden Geraden der Parallelenschar vor sich geht. Wäre für alle diese Bewegungen die Epoche ε die gleiche, etwa = o, so würden die Linien, welche jeweils durch Punkte gleicher Phase hindurchzulegen sind, gerade Linien, parallel zu G, werden; wenn wir uns aber denken, dass die Bewegung etwa für die äusserste Parallele links zuerst beginnt, und dass diese Bewegung sich jeweils in gleichen Zeitabständen durch die ganze Schar hindurch fortsetzt, so liegen die zusammengehörigen Punkte auf einer zu den Trochoiden (S. 441) gehörigen Wellenlinie. Die nämlichen Punkte sollen nun durch anderweite Impulse auch zu anderweiten Vibrationen veranlasst sein, aus deren jeder eine besondere Welle entspringen würde; dann überlagern sich diese sämtlichen Wellen, und als Komponenten liefern sie eine resultierende Kurve, deren Gleichung einem analogen Gesetze unterworfen ist. Jede Gezeitenkurve, welche ein Mareograph (S. 383) liefert, ist eine solche Linie, die man sich durch Superposition einer Anzahl von Elementarwellen entstanden vorzustellen hat. Drei Hauptkomponenten sind uns bereits bekannt (S. 463): die halbtägigen Gezeiten des Mondes und der Sonne und die eintägigen Gezeiten, dazu kommen dann noch die halbmonatlichen, monatlichen und jährlichen Gezeiten. Da aber die Mondbahn eine grosse Anzahl von Unregelmässigkeiten aufweist [334], welche erst in neuester Zeit wirklich ausreichende Mondtafeln erstehen liessen, und da jede einzelne Abweichung von der Stelle, welche unser Trabant dem strengen Anziehungsgesetze gemäss in seiner elliptischen Bahn einnehmen sollte, eine Gezeit für sich bedingt, so gibt es eine ungemein grosse Anzahl von Partikularwellen, welche mathematisch aus dem Diagramme des Flutmessers sozusagen herauspräpariert werden müssen. Die Epochen vermag nur die Beobachtung selbst zu liefern. Die Höhe der Flutwelle ist für die Zeit t eine trigonometrische Reihe von der Form

$$a_0 + a_1 \cos n_1 t + a_2 \cos n_2 t + \ldots + a_i \cos n_i t + \ldots + b_1 \sin n_1 t + b_2 \sin n_2 t + \ldots$$
$$+ b_i \sin n_i t + \ldots,$$

und zwar setzen sich die Argumente $n_i t$ zusammmen aus den Vielfachen der mittleren Stundenwinkel von Mond und Sonne, aus denen der mittleren Längen von aufsteigenden Knoten und Perigäum (Perihelium) und auch noch anderer als einflussreich erkannter Winkelwerte. Jede neue Wellenzeichnung kann unter Umständen dazu führen, dass noch ein neues astronomisches Element sich als bedeutsam genug erweist, um bei der Bildung der Summanden Beachtung zu erfordern.

Die Gesetze einfacher Uebereinanderlagerung der Schwingungen verlieren dann ihre Geltung, wenn die Amplitude der Wassertiefe gegenüber ziemlich gross wird. Dann treten die von Börgen (s. o.) so genannten zusammengesetzten Gezeiten ein („Compound Tides“ nach Thomson), das hydrodynamische Seitenstück der akustischen Erscheinung, welche H. v. Helmholtz, mochte sie auch von Sorge und Tartini bereits thatsächlich wahrgenommen sein [335], doch zuerst kausal zu begreifen lehrte. „Die Kombinationstöne“, so spricht sich Helmholtz aus [336], „zerfallen in zwei Klassen. Die erste, von Sorge und Tartini entdeckte Klasse, welche ich Differenztöne genannt habe, ist dadurch charakterisiert, dass ihre Schwingungszahlen gleich sind den Differenzen zwischen den Schwingungszahlen der primären Töne. Die zweite Klasse, die Summations-

töne, sind von mir entdeckt; ihre Schwingungszahlen sind gleich der Summe der Schwingungszahlen der primären Töne." Genau demselben Gesetze ordnen sich die von W. Thomson aufgefundenen Kombinationswellen unter, welche die zusammengesetzten Gezeiten ergeben. An die Obertöne, aus denen sich nach G. S. Ohm [337] und H. v. Helmholtz [338] das zusammensetzt, was wir Klang nennen, erinnern Börgens (s. o.) Nebengezeiten, „von G. H. Darwin (s. o.) wohl bezeichnender als ‚Overtides' in die Wissenschaft eingeführt".

Die „British Association" hat einen ständigen Ausschuss eingesetzt, um die möglichst umfassende Zurückführung der Tidenerscheinungen aller Meere auf die Formeln der harmonischen Analyse zurückzuführen [339], und Thomson wie Darwin (s. o.) haben über die Arbeiten dieser Kommission fortlaufenden Bericht erstattet. Die Teilnahme an diesen Arbeiten ist nicht auf Grossbritannien beschränkt geblieben, sondern eine Auswahl hervorragender Fachmänner nimmt daran Anteil; wir nennen unter ihnen nur aus Deutschland Börgen, aus den Niederlanden Engelenburg und van der Stok, dessen Untersuchungen über die Gezeiten der Hinterindischen Meere eine wahre Paradigmensammlung für diese Rechnungsweisen repräsentieren [340]. Man hat aber, um die Gefahr des Versinkens im Zahlenmeere möglichst hintanzuhalten, neuerdings auch Mechanismen zur bequemeren Ausführung der zahllosen Integrationen (vgl. S. 82) erfunden. James Thomson [341] ging damit voran; W. Thomsons [342] „Harmonic Analyzer" und Roberts' [343] — auf 20 verschiedene Wellenformen Bedacht nehmender — „Tide Predicter" folgten nach, und neuerdings dürfte die Integriermaschine von Sommerfeld-Wiechert [344] auch für diese Seite des hydrographischen Dienstes sehr erspriesslich geworden sein. Allgemein erörtert Darwin [345] das Prinzip der graphisch-mechanischen Integration.

Wir sehen uns nunmehr befähigt, ein einigermassen abschliessendes Urteil über den Stand der Gezeitenforschung der Gegenwart abzugeben. Die statische Theorie bildet noch immer, so unvollkommen sie auch in ihrer einfachen Anlage der Vielgestaltigkeit der Natur entspricht, die feste Grundlage weiterer Bearbeitung des Gezeitenproblemes; letzteres hat Laplace, dessen neue Auffassung auch von Challis und W. Thomson gewürdigt wird [346], zuerst richtig als ein solches der Undulationstheorie erfasst, und Airys Kanaltheorie konnte aus letzterer auf einfachem Wege gewisse unerschütterliche Grundwahrheiten ableiten, während Ferrels Schwingungstheorie höchstens der Erklärung gewisser abnormer Fälle gerecht ward. Auf Airys Grundlage fortbauend, hat W. Thomsons dynamische Theorie gezeigt, wie man die jeder einzelnen Kraftwirkung entsprechende Partikularwelle gesondert für sich darzustellen und die Flutwelle als Summe einer grossen Zahl von Gliedern auszudrücken vermöge. Freilich aber sind auch noch Nebeneinflüsse vorhanden, welche zum Teile schon früher Erwähnung fanden, teilweise aber erst im folgenden Paragraphen besprochen werden können.

§. 13. **Anderweite Untersuchungen über Gezeiten.** Barometerstand, Wind und Erdrotation sind von uns (in §. 9) als drei Momente erkannt worden, welche bewirken können, dass das Wechselspiel von Ebbe und Flut sich im konkreten Falle anders abspielt, als man nach der für die betreffende Oertlichkeit bewährten Regel erwarten durfte. Aber Küsten- und Bodengestalt können ebenfalls den Gang der Wellen hemmend oder fördernd beeinflussen. Endlich mögen an dieser Stelle auch einige praktisch mehr nebensächliche, auf das Gezeitenphänomen bezügliche Fragen, denen aber doch ein hohes theoretisches Interesse zuzuerkennen ist, ihre Erledigung finden.

Wenn wir uns vergegenwärtigen, dass die Gezeitenwelle eine Küste im allgemeinen unter einem nicht gleich bleibenden Winkel treffen wird, so ist damit schon ein Erklärungsgrund für die Thatsache gegeben, dass Fluthöhe und Hafenzeit (S. 463) nicht überall gleich ausfallen. Wenn z. B. angenommen wird, dass jene Welle aus SE gegen die Küste der Vereinigten Staaten fortschreitet, welche gegen NE verläuft, so ist nach Kreidel [347] wohl zu verstehen, weshalb die Hafenzeiten jener Küste durchweg ziemlich genau auf denselben Termin entfallen. Derselbe Autor weist darauf hin [348], dass die Konstruktion der Flutstundenlinien (S. 471), die sich nur freilich nicht unerreichbare Ziele im Sinne Whewells stecken darf, Aufschlüsse über die Einwirkung morphographischer Verhältnisse auf den Charakter der Flutwelle zu liefern vermag. So ist zweifellos die Küstengestalt wesentlich beteiligt, wenn die von van der Stok [349] gezeichneten Flutstundenlinien in der Strasse von Malakka ziemlich genau parallele Linien sind, in dem Meere zwischen Java und Celébes dagegen starke Ausbuchtungen aufweisen.

Mehr noch freilich ist wahrscheinlich das Bodenrelief von Einfluss. Für das Studium dieses Faktors sind massgebend die Untersuchungen von Börgen [350], deren Resultaten allerdings die mehrfach erwähnte Schrift von Kreidel mehrfach entgegentritt. Der Erstere geht aus von dem Unterschiede zwischen freien und gezwungenen Wellen (S. 445); die Höhe der letzteren ist der Tiefe des Wassers, in der sie fortschreitet, direkt proportional, und deshalb wird beim Eintritte in die flacheren Küstengewässer weit mehr von freien als von gezwungenen Wellen, welch letztere nur der Hochsee angehören, zu bemerken sein. Trotz der besprochenen Abweichungen kommt, da dieselben nur Einzelpunkte betreffen, auch Kreidel [351] zu dem Schlusse, „dass die freie Welle bei der Bestimmung der Hafenzeiten im atlantischen Gebiete von überwiegendem Einflusse ist". Die grossen Differenzen, welche die Hafenzeiten selbst benachbarter Küstenplätze (vgl. S. 463) bekunden, werden wohl nur dann in ihren Ursachen aufgeklärt werden können, wenn man konsequent auf dem durch Börgen eröffneten Wege weiterschreitet.

Nicht ferne liegt auch die Frage, ob nicht die Bildung und das Fortschreiten der Gezeitenwelle andere Verhältnisse erkennen lässt, je nachdem das Meer strömungslos ist oder von Strömungen durchzogen wird. Es wäre zu wünschen, dass auch dieser Möglichkeit einer Beeinflussung des Gezeitenphänomenes einige Berücksichtigung zu teil würde. Unter dem theoretischen Gesichtspunkte muss man nach den Ermittelungen von J. F. H. Schultz [352] eine solche Einwirkung der Strömungen auf die Form der Bahnen der schwingenden Wasserteilchen als eine gesicherte Thatsache hinnehmen. Zwar hatte Schultz zunächst nur die Windwellen im Auge, aber es muss ein Gleiches auch für jede analoge undulatorische Bewegung Geltung besitzen.

Wir ersehen aus allen unseren bisherigen Darlegungen und namentlich aus denjenigen des gegenwärtigen Paragraphen, dass die Berechtigung, mit welcher Krümmel einem Abschnitte seines Werkes [353] die Ueberschrift „Ungelöste Probleme" gab, auch heute noch fortbesteht. Ganz besonders gilt dies auch für jene Gezeitenerscheinungen, welche Klönne [354] mittelst eines genauen Flutmessers (S. 383) an den in ein böhmisches Bergwerk eingedrungenen Wassermassen konstatierte. Dass man es mit einem rhythmischen, ja sechsstündigen Aufundniederwogen dieser Wildwasser zu thun hatte, ist gewiss, aber zu erklären ist die Sache selbst einstweilen nicht. Darin wird man Zöppritz [355] unbedingt beipflichten müssen.

Die Hemmung, welche die Rotationsbewegung unserer Erde durch die mit entgegengesetztem Drehsinne behaftete, um den Erdball kreisende Flutwelle erfährt, wurde schon früher (I, S. 234) zum Gegenstande der Betrachtung gemacht. Ein gewisser Retardationseffekt ist nicht ausgeschlossen, wie dies auch aus den Rechnungen von Thomson [356] und Darwin [357] hervorgeht. Wenn dieser Effekt aber für die dünne Wasserschicht, welche als Meer die Erdfeste überdeckt, kein grosser werden kann, so mag sich dies doch einigermassen anders verhalten haben in früheren Perioden der Entwickelungsgeschichte unserer Erde. Gewiss hat man deshalb auch die Pflicht, sich über die Rolle, welche Ebbe und Flut in geologischer Vorzeit spielten, ein Urteil zu bilden.

Soweit die eigentliche Primordialzeit in Frage kommt, als noch der gesamte Erdkörper sich im Zustande fast vollkommener Freibeweglichkeit seiner Partikeln befand, ist die bezügliche Frage bereits erörtert und in ihrer Tragweite für die Kant-Laplacesche Kosmogonie gewürdigt worden (I, S. 53). Hier jedoch haben wir einen schon etwas konsistenteren Zustand des sich verfestigenden Planeten im

Auge. Immerhin ist, wenn nach Darwin [358] das Erdsphäroid als ein viskoser Körper (I, S. 346) vorausgesetzt und die für die Verschiebung der Teilchen wirksam werdende Kraft der sechsten Potenz der Mondentfernung umgekehrt proportional gesetzt wird, bei der geringen Entfernung unseres Satelliten noch recht wohl an Kraftleistungen zu denken, gross genug, um bei der ersten Herausmodellierung der Festlandmassen (vgl. S. 332) mit in die Wagschale zu fallen [359]. Jedenfalls sind Flutwellen von solcher Energie, dass sie bei der geologischen Aktion bestimmend eingriffen, auf die ältesten Aeren beschränkt gewesen; nach Ball auf die protozoischen und frühesten paläozoischen Zeitalter (S. 332), nach Newberry und Hull mindestens auf letztere und allenfalls noch das Mesozoikum [360]. Auch die über ungewöhnlich mächtige Fluten zwischen Miller, Yeats, Elegram, Haughton und vornehmlich Moseley gepflogenen Diskussionen [361] tragen zur Klärung dieser Angelegenheit bei.

Jedenfalls kann man folgendes behaupten: In je weicherem Aggregatzustande die kosmischen Impulse den Erdball trafen, eine um so entschiedenere Pulsationsbewegung des Gesamtkörpers mussten sie bedingen, und von einer Auffassung der Meeresgezeiten als Differentialgezeiten (I, S. 346) konnte erst dann die Rede sein, als die Aussenschichten der Erde bereits einen hohen Grad von Starrheit erreicht hatten. Am angeführten Orte ist gezeigt worden, welche Gezeiten eingehend erforscht werden müssen, um den etwaigen Mehrbetrag des Aufsteigens und Sinkens der flüssigen Hülle gegenüber der Erdfeste ausfindig zu machen. Auch anderweite Beobachtungsmethoden, unter denen die das Horizontalpendel (I, S. 165, 466) zu Hilfe nehmende obenan steht, wünscht Aug. Schmidt [362] für den obschwebenden Zweck angewendet und ausgebildet zu sehen. Die Wellen, in welche die Erdrinde gelegt würde, hätten natürlich, wie Rudzkis Berechnung [363] ergibt, eine weniger einfache Gestalt, als diejenigen der isotropen, nach allen Richtungen hin gleiche Verhältnisse darbietenden Hydrosphäre.

§. 14. **Gezeitenströmungen.** Erst die neueste Zeit hat uns mit einer Erscheinung genauer bekannt gemacht, die man durch die Erfahrung allerdings bereits als eine notwendige Begleiterscheinung von Ebbe und Flut zu betrachten gelernt hatte. Dies sind die Gezeitenströme, von deren Wesen zuerst Airy in seiner mehrgenannten Abhandlung gelegentlich gehandelt hat, und deren Theorie sodann W. Thomson [364] allseitig entwickelte; auch Krümmel hat [365] dieselbe, mit eigenen Zusätzen, seinem Werke einverleibt. Als wir in §. 2 das Wesen einer jeden Wellenbewegung klarzulegen suchten, zeigten wir, dass zwei verschiedene Bewegungsformen auseinanderzuhalten seien: die Orbitalbewegung, kraft deren jedes Wasserteilchen eine ganz oder nahezu geschlossene Kurve auf kleinem Raume beschreibt, und die fortschreitende Welle, indem durch die konsekutiven Anstösse immer entferntere Teilchen genötigt werden, in die Orbitalbewegung einzutreten. Diese letztere haben wir bisher völlig vernachlässigt, indem wir ausschliesslich auf die Wellenfortpflanzung unser Augenmerk richteten; nunmehr erzwingt auch die Orbitalbewegung die ihr zukommende Beachtung. Sie nämlich erkennen wir in den sogenannten Gezeitenströmen wieder.

Die in Betracht kommenden Wellen haben eine beträchtliche Länge; jede einzelne Orbitalkurve besitzt demzufolge einen verhältnismässig grossen Durchmesser, und es kann sich sowohl die Bewegung gegen die Küste hin, als auch die

Bewegung von der Küste weg als eigentlicher Strom geltend machen. Die mit der Fortpflanzungsrichtung der Welle übereinstimmende horizontale Verschiebung des Wellenkammes ist der Flutstrom (engl. Flot), der von etwa 3^h vor Hochwasser bis ebenso lange nach Hochwasser anhält, und ihn löst für die übrige Zeit der zwölfstündigen Gezeitenperiode der Ebbestrom (engl. Jusant) ab, welcher der entgegengesetzt gerichteten Bahn der Wasserteilchen unter Mittelwasser entspricht. Für den Prozess des Umkehrens sind die Namen Stromwechsel, Umsetzen, Kentern, Stillwasser (engl. slack Water) im Gebrauche. Wer nicht genauer beobachtet, meint zwar gewöhnlich, der Zeitpunkt des Kenterns falle gerade mit den Zeiten von Hoch- und Niedrigwasser zusammen, aber bei schärferem Zusehen ergibt sich, dass der Regel nach immerhin eine allerdings nicht immer der strengen Voraussetzung sich anpassende Zeitdifferenz zwischen den extremen Wasserständen und den Stromwechseln liegt, so dass sogar das Verschwinden dieser Differenz als Störung des normalen Verlaufes sich zu erkennen gibt [366].

Die mittlere Stärke der Gezeitenströme, d. h. die durchschnittliche Geschwindigkeit v derselben, hat Comoy [367] sehr einfach durch die Geschwindigkeit c, mit welcher die Welle fortschreitet, auszudrücken gelehrt. Wenn nämlich H die Fluthöhe, p die Wassertiefe ist, so hat man die Proportion $v : c = H : 2p$ und aus ihr $v = cH : 2p$. Je grösser mithin c ist, um so entschiedener macht sich auch der Gezeitenstrom geltend, um so kräftiger kann sich aber auch, einer früher (I, S. 239) aufgestellten Formel zufolge, die ablenkende Kraft der Erdrotation bethätigen, und zwar in spitz zulaufenden Buchten am meisten [368]. Der Wellenkamm erhält ein schiefes Profil, indem an der rechten Seite auf der nördlichen, an der linken Seite auf der südlichen Erdhemisphäre das Wasser um einen kleinen, immerhin jedoch der Messung nicht ganz unzugänglichen Betrag höher ansteigt. Dieser Umstand kann auch mitwirken, um die erosive Leistungsfähigkeit dieser Ströme, welche uns in Kap. II der siebenten Abteilung beschäftigen wird, zu verstärken oder abzuschwächen.

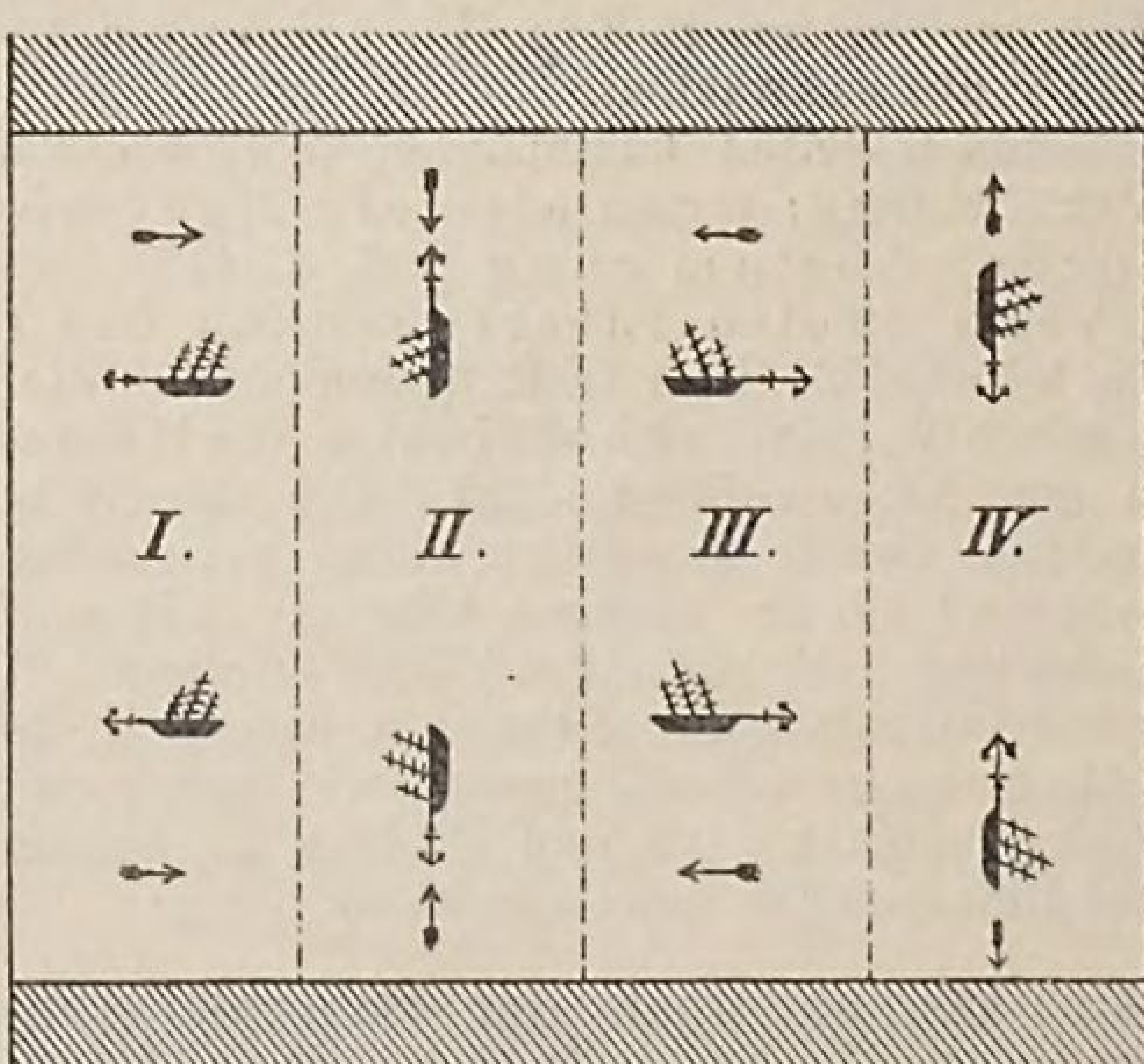
Die von verschiedenen Seiten kommenden Wellen erzeugen auch Gezeitenströme von bestimmter Richtung; wenn also ein Meeresbecken Gezeitenwellen verschiedener Abstammung (vgl. S. 472) in sich aufnimmt, so werden auch verwickelte Interferenzen der Gezeitenströme nicht ausbleiben können. Dies trifft besonders für die Nordsee zu, welche eine Kanalwelle aus SW, eine schottische Welle aus W und eine norwegische Welle aus NE empfängt [369]. Die Geschwindigkeit der Ströme kann so durch Summation zweier wesentlich gleich gerichteter Impulse eine sehr namhafte werden, während sie an anderen Küsten, z. B. nach Weule [370] an der atlantischen Unionsküste, viel geringere Werte annimmt. Von der Oertlichkeit hängt natürlich Art und Intensität dieser Strombewegung in hohem Grade ab, und vor allem sind hier Meerengen bestimmend, wie dies van der Stoks gründliche Analyse [371] der zwischen Java und Madura in engem Sunde sich begegnenden alternierenden Bewegungen beweisen kann.

Meeresstrassen können auch der Schauplatz der merkwürdigen rotatorischen Ströme werden, welche Beechey [372] zuerst als Kanalströmungen charakterisiert und Thomson (s. o.) kausal erklärt hat. Wir denken uns [373] einen breiten prismatischen Kanal von dreieckigem Querschnitte; die geradlinige Verbindungslinie der Punkte grösster Tiefe läuft parallel zur Kanalachse, mit welcher sie in der gleichen Vertikalebene liegt. In Fig. 98 sehen wir ein Rechteck vor uns, welches die Oberfläche des Kanales darstellen soll; dasselbe ist durch Gerade, die auf Küsten und Achse senkrecht stehen, in die vier kongruenten Teile I, II, III, IV zerlegt; jede dieser Abteilungen entspricht einer bestimmten Phase der Strömungsbewegung. Wie die Figur angibt, äussern sich dann diese Ströme in der Weise, dass ein ruhendes Schiff zweimal des Tages eine vollständige Umdrehung von 360° durchzumachen hat, und zwar, je nach seiner Lage zur Kanalachse, in entgegengesetztem Drehsinne.

Stadium I ist dadurch gekennzeichnet, dass am Ufer Stillwasser (s. o.) herrscht, während der durch Pfeile markierte Strom vom Ufer gegen die Kanalmitte hin immer stärker wird. Das Schiff stellt sich also, falls es von der Küste hinlänglich entfernt ist, in der Stromrichtung ein. Wenn aber Stadium II eingetreten ist, so herrscht Stille im unmittelbaren Bereiche der Achse, während von den Küsten der Ebbestrom nach innen geht und das Schiff mitnimmt, ihm eine erstmalige Drehung von 90° erteilend. Dann folgt Stadium III; am Strande fehlt der Strom, aber in der Mitte wirkt der Ebbestrom mit voller Kraft in einer der des Flutstromes entgegengesetzten Richtung, so dass das Schiff jetzt um 180° gegen seine Anfangslage gedreht erscheint. Stadium IV entspricht in seiner Art wieder dem Stadium II, indem nur jetzt der Flutstrom von der Mitte zum Lande geht und das Schiff ihm zu folgen nötigt; die Drehung beträgt jetzt 270°. Würden wir noch ein Stadium V hinzufügen, so wäre dieses wiederum mit Stadium I identisch, und unser Schiff hätte, nachdem seine Achse eine volle Umdrehung beschrieb, seine alte Lage angenommen.

§. 15. **Das Eindringen der Gezeitenwelle in die Ströme.** Es gibt (vgl. Abteil. VIII, Kap. VI) Flüsse mit Delta und mit offener, gegen das Meer hin sich mehr und mehr erweiternder Oeffnung, welche nur deshalb Aestuarium (aestus, Flut) genannt wird, weil die Gezeitenwelle mehr oder weniger tief in diese Mündung eindringt. Vielfach vollzieht sich dieses Eindringen ohne besondere Nebenerscheinungen;

Fig. 98.



man konstatiert eben nur am Pegel ein regelmässiges Steigen und Fallen des im ersteren Falle durch die entgegenprallende Flutwelle aufgestauten Stromwassers. Nicht ganz selten jedoch kommt es auch zu eigenartigen, hie und da imposanten und für die Schiffahrt sehr gefährlichen Wellenbildungen. Muncke, dessen Studien hierüber [374] zusammen mit denjenigen Brémontiers [375] die Grundlage für die Erforschung dieser Modalität des Gezeitenphänomenes bilden müssen, führt auch die da und dort dafür gebräuchlichen Bezeichnungen an: Mascaret oder Rat de Marée in Westfrankreich, Bore an den Gangesmündungen, Barre oder Pororoca am Ausflusse des Amazonenstromes. In Deutschland sind die Namen Flutbrandung, Flussgeschwelle, Stürmer, Sprungwelle (nach Andries) bekannt, wogegen das von den nordwestdeutschen Flüssen bekannte Rastern zwar ein brausendes Geräusch bedeutet, sonst aber mit dieser Erscheinung nichts zu thun hat [376].

Comoys Spezialschrift (s. o.) ist von Andries in Deutschland bekannt gemacht worden [377], und Krümmels Werk [378] geht nicht minder gründlich auf die Sache ein.

Wie weit die Gezeiten noch im Binnenlande sich ausbreiten können, zeigt das Beispiel der Elbe; noch oberhalb Lauenburgs ist nach Schück [379] der Unterschied zwischen Hoch- und Niedrigwasser deutlich wahrnehmbar. Die furchtbare Choleraepidemie, welche Hamburg 1892 erlebte [380], wurde u. a. mit der unleugbaren Thatsache in Verbindung gebracht, dass die Oeffnungen des unterirdischen Abfuhrkanalnetzes eine unzweckmässige Lage hatten, so dass die Flut einen Teil der Abwässer in die oberhalb der Stadt gelegenen Mündungen der Trinkwasserleitung hineintreiben konnte. Von vielen Flüssen Niederguineas berichtet Pechuel-Loesche [381], Ebbe und Flut beherrschten die Wasserläufe teilweise bis an das doch ziemlich weit entfernte Gebirge hin; nur den mächtigen Kongo vermöchten die Gezeiten zwar aufzuhalten, nicht aber in rückläufige Bewegung zu versetzen. Betont wurde oben (S. 451), dass man die Wirkung des Windstaus, welcher ja sehr wohl zur Verstärkung des Flussgeschwelles dienen kann, nicht mit diesem letzteren verwechseln dürfe.

Einige geographische Beispiele mögen zur Klärung des durchaus nicht immer die gleichen Züge aufweisenden Bildes der Erscheinung angeführt werden. Von deutschen Flüssen dürften, wie Franzius bemerkt [382], höchstens in der Ems Spuren der Sturmwelle zu erkennen sein. Von Frankreich war die, wie wir oben sahen, verschiedenartig benannte Anschwellung der Flüsse unter dem Einflusse der Gezeitenwoge längst bekannt; neben (s. o.) Brémontier und Comoy lieferten Partiot [383] und Bazin [384] Beiträge zur Spezialcharakteristik. Das lange Trompetenrohr der Gironde musste dem Aufsteigen der Meereswellen besonders günstige Bedingungen darbieten, und Comoy hat [385] die dortigen Verhältnisse gründlichst untersucht. Wenn die Springwelle durch die Gironde hindurch bis in die eigentliche Garonne hineingelangt ist, so vermag sie zu bewirken, dass dort bei Ebbe der Wasserstand ein höherer ist, als weiter abwärts. Es ist dies gewiss ein auffälliges Ereignis, welches jedoch durch die nachstehende Tabelle, in welcher a_s und a_t den Abstand des Niedrigwasserstandes von Normalnull (I, S. 229) resp. bei Springflut und tauber Flut bedeuten, seine Bestätigung findet:

Gironde	a_s	a_t	Garonne	a_s	a_t
Point de Grave .	− 1,96	—	Bordeaux . . .	− 1,04	− 0,81
La Maréchale . .	− 1,76	—	Portets	− 0,10	− 0,38
Pauillac	− 1,72	—	Cadillac	+ 1,68	+ 0,99
Blaye	− 1,89	—	Langou	+ 3,38	+ 2,81
Bec d'Ambès . .	− 1,48	—	Castets	+ 4,74	+ 4,11

In Asien ist die Stürmerwelle am Hugly besonders bekannt, indem sie dort bis über Kalkutta hinaufgeht, und auch in der Megna kommt sie vor [386]. Der Narbadda ist es, auf dessen Sprungwelle sich zweifellos eine Nachricht des „Periplus Maris Erythraei" bezieht [387]; heute ist dieselbe anscheinend nicht mehr in dieser ausgeprägten Form vorhanden, obwohl die Meeresfluten über 80 km von der Küste noch nachweisbar sind. Nach Crocker schildert Krümmel [388] analoge Vorkommnisse aus dem nördlichen Borneo. Die mächtigste asiatische Sprungwelle ist diejenige des chinesischen Flusses Tsien-tang, bei den Uferbewohnern nur kurzweg „Donner" genannt; sie soll 10 m Höhe über dem Normalniveau des Flusses erreichen, während im übrigen 6 m — in Europa sogar bloss 2 m — die Maximalerhöhung zu bilden pflegen. G. Schott hat die Beobachtungen von Moore zu einer ausführlichen Schilderung dieser grossartigen Naturerscheinung benützt [389], mit deren Auftreten jede Befahrung der Bucht von Hang-tschou zur Unmöglichkeit wird. Bei der Bamblu-Insel steigt der Wasserstand, eine Stunde nach eingetretener Ebbe, 3 bis $3^1/_2$ m in der Stunde an; zunächst ist noch keine eigentliche Sprungwelle bemerkbar, wohl aber ein schnelles Steigen, verbunden mit unregelmässig sich kreuzenden Oberflächenströmungen (Kabbelung, S. 445). Bald aber wird die entstehende Welle zur mauerartigen Wasserkaskade, und diese Wasserwand schreitet

mit grosser Schnelligkeit stromaufwärts fort, ohne ein Wellenthal hinter sich zu lassen; es ist somit eine typische Einsiedlerwelle (S. 443). Die Augenzeugen erklären [390], man habe den Eindruck, als sei ein weisses Tau quer über den Fluss gespannt, welches reissend schnell fortgezogen werde. — Der Erdteil Afrika eignet anscheinend sich viel weniger für derartige Anomalien der Flussgezeiten. Doch weiss O. Lenz [391] beim Quaqua in Portugiesisch-Ostafrika von einer ganz ähnlichen Hochflut im Flussgerinne zu berichten, welche sich am kräftigsten bei Voll- und Neumond offenbart, wenn also das benachbarte Meer von seiner Springflut beherrscht wird.

Wenn auch vielleicht nicht der Absoluthöhe nach, so doch sonst besonders gewaltig zeigt sich die brasilianische Pororoca (auch Prororoca, Piroroca, S. 482). Dieselbe ist nicht auf den Amazonas beschränkt, denn Brunelli konnte sie auch am Guamá beobachten [392], der kaum mehr zu den Nebenflüssen des ersteren (nächst Pará) gerechnet werden kann, vielmehr dem Capim und, durch diesen, dem Tocantins tributär ist. Aber der Riesenfluss selbst wird doch am häufigsten von der gefürchteten Welle heimgesucht, mit deren Eigentümlichkeiten De la Condamine, von seiner peruanischen Expedition her den Marañon herabfahrend (I, S. 152), die Europäer zuerst bekannt machte [393]. Obwohl er die Pororoca („krachendes Wasser") ziemlich weit vom Meere entfernt sah, konnte er sich der machtvollen Einwirkung des Schauspieles doch nicht entziehen. Dann folgten Berichte (s. o.) von Brunelli und Noyer [394], später von v. Martius [395], und zusammenfassend hat Schichtel [396] die Naturgeschichte der Pororoca behandelt. Der autoptische Bericht, den v. Martius erstattet, lässt keinen Zweifel darüber, dass die Sprungwellen im Tsien-tang und Amazonas morphographisch und innerlich vollkommen zusammengehören; nur in dem einen Punkte greift ein gewisser Gegensatz Platz, als die Wasserwand der Pororoca hie und da in sich zusammenstürzt, worauf weite Horizontalwellen nach allen Seiten hin sich ausbreiten. Man kennt an den Ufern der in den Bannkreis der Erscheinnung gezogenen Flüsse des Amazonas-Systemes die Stellen (Espéras-Warteplätze), an denen die gigantische Woge verschwindet, um von neuem zu entstehen und den Strom hinauf zu wandern.

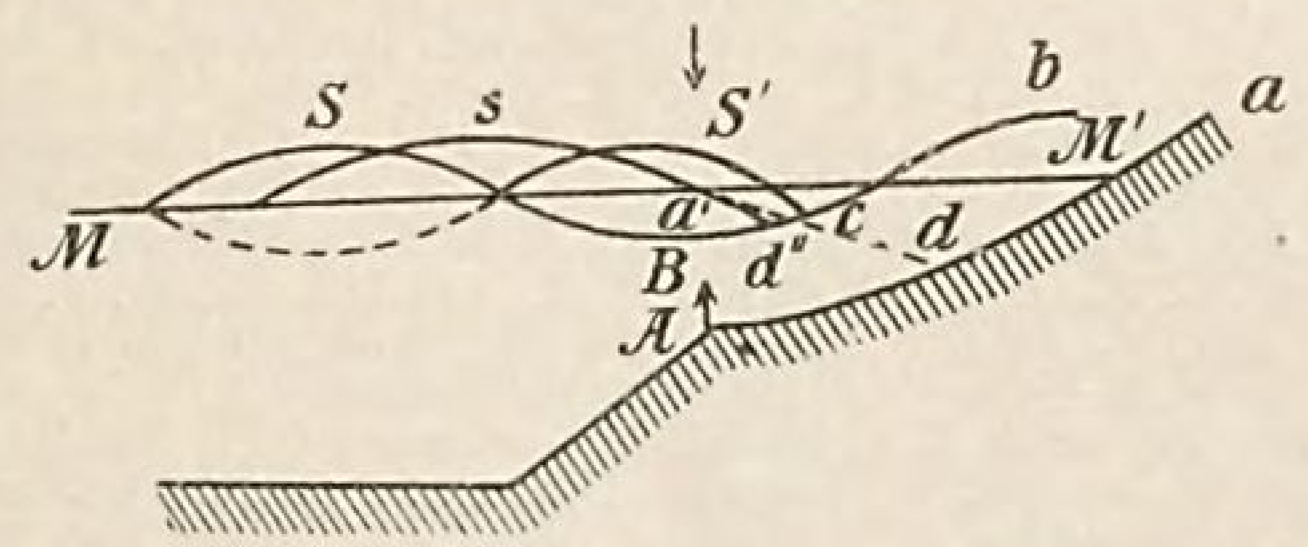
Die Gezeitenströme (§. 14) tragen entschieden dazu bei, den Vorgang des Aufsteigens der Meeresgewässer in den Flüssen noch verwickelter zu gestalten, als er an sich schon wäre. Sie bewirken, dass auch unter gewöhnlichen Verhältnissen der Fluss stundenweit von der Mündung an stromaufwärts fliessend befunden wird; sie sind als Ursache anzusprechen, wenn in einigen Fällen ein zweifaches, ja sogar ein dreifaches Hochwasser im Verlaufe von 12^h sich nachweisen lässt, wie im schottischen Forth-River zwischen Meer und Stirling [397]. Auch braucht, um ein aussergewöhnliches Flussgeschwelle unter günstigen Bedingungen hervorzurufen, nicht gerade ein Strom fliessenden Wassers der Flutwelle entgegenzuwirken; es genügt, dass unter dem Einflusse der Gezeiten Strömungen in engen Meeresstrassen entstehen. Wir vermuten, dass der norwegische Malstrom und die viel besprochenen Strömungen der Strasse von Messina hierher gehören.

Von ersterem meldet Lichtenberg [398]: „Der Malstrom an der norwegischen Küste unter 61° n. Br. wirbelt bald so, bald so. Bey der grössten Fluth und tiefsten Ebbe ist der Wirbel still." Auch Heger bezeugt [399], dass eine sechsstündige Periodizität diese oft lebhafte Bewegung reguliere, welche zwischen den Lofoten-Inseln Värö und Moskenäsö leichte Fahrzeuge wohl in etwas bedenkliche Situationen bringen kann, jene „zermalmende Kraft", die ihr den Namen verlieh, aber durchaus nicht besitzt. — Jeder Kenner des Altertums ist mit den gefährlichen Strudeln Scylla und Charybdis bekannt, welche eine Monographie von Waser [400] vom Standpunkte des Litterators aus in ihrer angeblichen Eigenart kennzeichnet, und auf welche sich ein Vers der im XII. Säkulum entstandenen „Alexandreis" bezieht: „Incidis in Scyllam cupiens vitare Charybdim". Als Spallanzani seine Beschreibung dieser Oertlichkeiten lieferte [401], traf Homers sprechende Zeichnung der Sache, wenn auch nicht der Intensität nach noch

ziemlich gut zu; nur konnte er statt wirklicher Wirbelbewegungen wesentlich nur Strömungen erkennen, welche durch den Gezeitenwechsel bedingt waren. Neuere Beobachtungen, einerseits von dem bekannten Geophysiker Ph. Keller in Rom, andererseits von Delegierten der italienischen Marine angestellt [402], erlauben noch nicht die Herstellung eines völlig übersichtlichen Bildes, weil sie zum Teile nicht übereinstimmen. Jedenfalls ist die Scylla ein Strudel an der kalabrischen Küste, und die Charybdis liegt 9 Seemeilen entfernt, ganz nahe dem Hafen von Messina; in ihr soll Cola Pesce („Fischmensch“), das Modell zu Schillers „Taucher“, den Tod gefunden haben. Nach Keller hat man es wesentlich mit Gezeitenströmen, auf die auch der Wind Einfluss übt, zu thun; zur Zeit der Springflut und starken Windes bedürfen auch heute noch kleinere Boote guter Lotsen, um den schmalen Durchlass von Kap Faro ungefährdet zu passieren, weil die Wirbelbildungen — Refoli, Garofali — dann sehr energisch werden können. Der Hauptströmung sollen dann heftige Gegenströmungen — im Patois Bastardi — folgen. Jedenfalls kann es sich ereignen, dass eine besonders starke Gezeitenwelle in dem engen Sunde einem Stürmer vergleichbar anschwillt und die stets zu findenden Strudel dann zu einer wirklich gefährlichen Passage macht. Ganz harmlos ist dieselbe mitunter nicht, wiewohl die nach N gehende Gezeitenströmung die Befahrung der Strasse wesentlich erleichtern kann.

Hydrotechnisch hat die Flussgeschwelle van der Wyk [403], mathematisch hat sie Guieysse [404] untersucht; v. Schleinitz [405] gab Anleitung zu ihrer Beobachtung und zur Berechnung gewisser Bestimmungsstücke auf Grund einer Boussinesqschen Formel, und von Comoy (s. o.) hat man eine elementare Theorie des normalen Flussgeschwelles, als dessen extremer Grenzfall die

Fig. 99.



Sprungwelle angesehen werden kann. Es münde ein Fluss unter rechtem Winkel gegen die Küste ins Meer, und es soll die gebrochene Linie a A (Fig. 99) ein Vertikalprofil der Flussmündung vorstellen. Die Mündung selbst liege bei B, so dass B b eine Strömungslinie der Flussoberfläche bei Niedrigwasser angibt. Die herankommende Welle MSB hat ihr normales Profil; wenn aber der Scheitel von S nach s vorgerückt ist, während die Welle in d', welcher Punkt höher als B liegt, der Mündung begegnet, so findet sie ihr Ende schon in d'' und nicht erst in d, bis wohin die Wellenkurve sich erstrecken würde, wenn das Flussbett mit ruhendem Wasser erfüllt wäre. Das in diesem Falle konkave Profil s d' d ist in ein konvexes, nämlich in s d' d'' übergegangen. Wenn der Scheitel S' gerade senkrecht über der Mündung B angelangt ist, ergibt sich das noch steiler einfallende Profil S' c; der Neigungswinkel wird, je weiter man im Flusse hinaufkommt, ein um so steilerer, bis endlich ein Umkippen des in weissen Gischt sich auflösenden Kammes stattfindet. MM' entspricht dem ungestörten Meeresspiegel.

In dieser Weise fortschreitend, entsteht eine Einsiedler- oder Uebertragungswelle, deren Geschwindigkeit, wenn h die Erhebung der Welle über dem ungestörten Wasserspiegel, p wiederum die Wassertiefe bedeutet, durch $\sqrt{2g(h+p)}$ gegeben ist [406]. Als eine in stetig an Tiefe abnehmendem Wasser fortschreitende isolierte Welle muss sie, wie Bazins Experimente darthun, schliesslich branden [407] und jene gigantischen Dimensionen annehmen, mit denen uns die Schilderungen verlässiger Gewährsmänner bekannt machten.

[1] Cialdi, Lionardo da Vinci, fondatora della dottrina sul modo ondoso del mare, J. P., XXI, S. 171 ff.; Libri, Histoire des sciences mathématiques en Italie, III, Paris 1840, S. 43; M. Cantor, Lionardo da Vinci, W. M., 1878, S. 373 ff. — [2] G. P. W., X, 2, S. 1275 ff. — [3] Sir Isaak Newtons Mathematische Prinzipien der Naturlehre, deutsch von Wolfers, Berlin 1872, S. 353 ff. — [4] Huygens, Traité de la lumière, Leiden 1690; Poggendorff, Geschichte der Physik, Leipzig 1879, S. 643 ff. — [5] Flaugergues, Verhandeling over de beweging en gedaante der golven, V. M. H, XXIX, 1793, S. 131 ff. — [6] Gerstner, Theorie der Wellen samt einer daraus abgeleiteten Theorie der Deichprofile, Prag 1804. — [7] Brandes, Eulers Gesetze des Gleichgewichtes und der Bewegung flüssiger Körper, übersetzt mit Zusätzen, Leipzig 1806, S. 223 ff. — [8] Poisson, Mémoire sur la théorie des ondes, M. A. P., 1816, S. 71 ff.; Sur le problème des ondes, ebenda, 1829, S. 571 ff. — [9] Plana, Note sur la théorie des ondes, donnée par Mr. Poisson, M. A. T., 1820, S. 113 ff. — [10] Cauchy, Mémoire sur la théorie de la propagation des ondes à la surface d'un fluid pesant d'une profondeur indéfinie, M. S. E., I, S. 1 ff. — [11] Bidone, Exposition sur le remous et la propagation des ondes, M. A. T., 1820, S. 84 ff. — [12] E. H. und W. Weber, Wellenlehre auf Experimente gegründet, oder über die Wellen tropfbarer Flüssigkeiten mit Anwendung auf die Schall- und Lichtwellen, Leipzig 1825. — [13] v. Boguslawski-Krümmel, Handbuch der Ozeanographie, II, Stuttgart 1887, S. 2 ff. — [14] M. Cantor, Vorlesungen über Geschichte der Mathematik, II, Leipzig 1892, S. 780 ff. — [15] C. W. L. Hagen, Zur Theorie der Meereswellen, A. P. C., CVII, S. 283 ff.; Ueber Wellen auf endlicher konstanter Tiefe, Z. Bw., 1862, Sp. 418 ff. — [16] Stokes, On the Theory of oscillatory Waves, T. C., 1849, S. 441 ff. — [17] Rankine, On the exact Form and Motion of Waves at and near the Surface of deep Water, P. T., 1863, S. 127 ff. — [18] Aimé, Recherches expérimentales sur le mouvement des vagues, A. C. P., V, S. 417 ff.; A. P. C., LVII, S. 584 ff. — [19] Boussinesq, Essai sur la théorie des ondes liquides périodiques, C. R., LCVIII, S. 905 ff.; Théorie des ondes et des remous qui se propagent le long d'un canal rectangulaire horizontal, C. R., LXXIII, S. 1211 ff. — [20] Lord Rayleigh, Some general Theorems relating to Vibrations, Pr. L. M. S., IV, S. 357 ff. — [21] Bertin, Données théoriques et expérimentales sur les vagues et le roulis, M. Ch., XVII, S. 209 ff. — [22] Caligny, Sur la théorie des ondes liquides périodiques, C. R., LXVIII, S. 980 ff. — [23] Froude, Considerations respecting the effective Wave-Slope in the Rolling of Ships at Sea, T. N. A., 1873, S. 96 ff. — [24] Cialdi, Du mouvement ondoyant de la mer, R. M. C., XXXII, S. 819 ff. — [25] Airy, Tides and Waves, London 1847 (separat aus der Encyclopedia Metropolitana); J. m. p. a., (3) I, S. 399 ff. — [26] v. Boguslawski-Krümmel, II, S. 6 ff. — [27] St. Venant, Du roulis sur mer houleuse, M. Ch., (2) VI, S. 1 ff. — [28] Mottez, Du courant alternatif dans la houle, ebenda, (2) VI, S. 360 ff. — [29] v. Boguslawski-Krümmel, II, S. 13. — [30] Siau, Observations diverses faites en 1839 et 1840, pendant un voyage à l'île Bourbon, C. R., XII, S. 770 ff. — [31[v. Boguslawski-Krümmel, II, S. 33 ff. — [32] Berthololy, Rippelmarken, Frankenthal 1894, S. 62 ff. — [33] Scott Russell, The Wave of Translation and the Work it does, P. R. S., XXXII, S. 382 ff. — [34] v. Boguslawski-Krümmel, II, S. 114 ff. — [35] Ebenda, II, S. 53. — [36] G. P. W., VI, 3, S. 1738 ff. — [37] E. H.-W. Weber, a. a. O., S. 31 ff.. — [38] Bohn, Ergebnisse physikalischer Forschung, Leipzig 1878, S. 151. — [39] Poisson, Nouvelle théorie de l'action capillaire, Paris 1831; A. P. C., XXV, S. 270 ff. — [40] Rosenberger, Die Geschichte der Physik in Grundzügen, III, Braunschweig 1887—90, S. 98 ff. — [41] van der Mensbrugghe, Sur la tension des lames liquides, C. R., LXV, S. 41 ff.; P. M., 1867, S. 270 ff., J. Ph., I, S. 321 ff.; Phénomènes capillaires, Ms., XXI, S. 302 ff.; Remarques sur la mesure de la tension superficielle des liquides, J. Ph., VIII, S. 54 ff. — [42] v. Boguslawski-Krümmel, II, S. 60. — [43] Coupvent des Bois, Mémoire sur la force des vents à la surface des océans, C. R., LXI, S. 933 ff. — [44] v. Boguslawski-Krümmel, II, S. 74. — [45] W. Köppen, Notiz über die Zurückführung der Anemometerangaben der Stationen der Seewarte auf absolutes Mass und über das Verhältnis der Beaufortschen Skala zur Windgeschwindigkeit, Z. ö. G. M., XIV, S. 302 ff. — [46] Handbuch der Ozeanographie und maritimen Meteorologie, I, Wien 1883, S. 400 ff. — [47] v. Boguslawski-Krümmel, II, S. 61. — [48] Ebenda, II, S. 37. — [49] Ebenda, II, S. 80; Toynbee, Charts of Meteorological Data for the nine ten Degree-Squares of the Atlantic beetwen 20° N. Lat. and 10° S. Lat., London 1876. — [50] Hernsheim, Beitrag zur Sprache der Marschall-Inseln, Leipzig 1880. — [51] Aristoleles, Problemata Mechanica, Nr. 41. — [52] P. G. W., VI, 3, 1740 ff. — [53] Pentland, Hauteur des vagues, C. R., V, S. 703 ff. — [54] Wilkes, United States Exploring Expedition, I, Washington 1845. — [55] v. Boguslawski-Krümmel, II, S. 48. — [56] Bergman-Röhl, Physikalische Beschreibung der Erdkugel, Greifswald 1870, S. 371 ff. — [57] R. Wolf, Biographien zur Kulturgeschichte der Schweiz, II, Zürich 1859, S. 368 ff. — [58] v. Boguslawski-Krümmel, II, S. 39. — [59] Wilkes, a. a. O., I, S. 135. — [60] A. Pâris, Observations sur l'état de la mer recueillies à bord du „Dupleix" et de la „Minerve", R. M. C., XXXI, S. 111 ff.; C. R., LXIV, S. 731 ff. — [61] v. Boguslawski-Krümmel, II, S. 40. — [62] G. Schott, Beobachtungen über Meereswellen, V. G. E. B., XX, S. 79 ff. — [63] G. Schott, Die Ozeanographie in den Jahren 1895 und 1896, G. Z., IV, S. 91. — [64] v. Boguslawski-Krümmel, II, S. 37 ff. — [65] Handbuch etc., I, S. 409. — [66] Bertin, a. a. O., S. 265. — [67] v. Boguslawski-Krümmel, II, S. 47; ebenda, II. S. 85 ff. — [68] v. Schweiger-Lerchenfeld, Wogengang und Brandung, D. R. G. St., IV, S. 275 ff. — [69] E. H.-W. Weber, S. 230 ff. — [70] Stevenson, On the Depths of Water, in which Waves break, N., VI, S. 27 ff.; Account of Experiments upon the Force of the Waves of the Atlantic and German Oceans, T. E. S., XVI, S. 23 ff. — [71] Stevenson, Design and Construction of Harbours, (3. Aufl.) Edinburg 1886, S. 37 ff. — [72] v. Boguslawski-Krümmel, II, S. 99. — [73] G. H. L. Hagen, Ueber das Verhalten der Meereswelle beim Auflaufen auf Untiefen und auf dem Strande, S. A. B., 1862, S. 313 ff. — [74] Strabon, Geographia, lib. I, cap. 7. — [75] v. Boguslawski-Krümmel, II, S. 86. — [76] G. P. W., VI, 3, S. 1747. — [77] v. Boguslawski-Krümmel, II, S. 99. — [78] Pechuel-Lösche, Die Loango-Expedition, III, 1, Leipzig 1882, S. 18 ff. — [79] v. Sonklar, Von den Ueberschwemmungen, Wien-Pest-Leipzig 1883, S. 14. — [80] Eilker, Die Sturmfluten in der Nordsee, Emden 1876. — [81] Hennig, Untersuchungen über die Sturmfluten der Nordsee, Berlin 1897. — [82] Lentz, Flut und Ebbe und die Wirkung des Windes auf den Meeresspiegel, Hamburg 1879, S. 115 ff. — [83] Nehls, Die Sturmfluten in der Elbe, Hydrologischer Jahresbericht von der Elbe, Magdeburg 1896. — [84] Lentz, a. a. O., S. 119. — [85] Zöppritz, Zur Theorie der Meeresströmungen, G., XV, S. 344 ff. — [86] Wellenhöhe und Wellenkraft, D. R. G. St., IV, S. 125. — [87] Lentz, S. 124 ff. — [88] R. Credner, Ueber den „Seebär" der westlichen Ostsee vom 16./17. Mai 1888, B. L. V. R., 5. Heft. — [89] F. G. Hahn, Bemerkungen über den „Seebär" der Ostsee und einige verwandte Erscheinungen, Königsberg i. Pr. 1896. — [90] D. Sanders, Wörterbuch der deutschen Sprache, I, Leipzig 1865, S. 84. — [91] Thebesius, Beiträge zu der Naturhistorie des Pommerlandes, B. St., III, S. 65. — [92] Boll, Beiträge zur Geognosie Mecklenburgs, XIX, S. 110 ff. — [93] v. Boguslawski-Krümmel, II, S. 119 ff. — [94] Ackermann, Beiträge zur physischen Geographie der Ostsee, Hamburg 1883, S. 221 ff. — [95] R. Credner, a. a. O., S. 29 ff. — [96] Eine Naturerscheinung im Baltischen Meere, Z. a. E., (2) V, S. 163 ff. — [97] Bannasch, Erfahrungssätze über den Stand der Ostsee,

A. P. C., XXXVI, S. 560 ff. — [98] R. Credner, S. 37. — [99] F. G. Hahn, a. a. O., S. 6. — [100] v. Boguslawski-Krümmel, II, S. 153. — [101] Th. Fischer, Beiträge zur physischen Geographie der Mittelmeerländer, Leipzig 1887, S. 92 ff. — [102] B. Franklin, On the Stilling of Waves by Means of Oil, P. T., 1774, S. 445 ff. — [103] Virlet d'Aoust, Action de l'huile sur les vagues de la mer, L. A., 1882, S. 384 ff. — [104] Krumbacher, Geschichte der byzantinischen Litteratur von Justinian bis zum Ende des oströmischen Reiches, München 1891, S. 55. — [105] Wirkung des Oeles auf die Meeresbrandung, W., I, S. 35. — [106] Das Oelen der See, G., XVII, S. 694. — [107] Lelyveld, Essay sur les moyens de diminuer les dangers de la mer par l'effusion de l'huile, Amsterdam 1776. — [108] Frisi, Dissertazione dell' azione dell' olio sull' acqua, Opuscoli filosofici, 3. Teil, Mailand 1781. — [109] C. E. M. Richter, Reisen zu Wasser und zu Lande, II, Dresden 1821, S. 66 ff. — [110] G. P. W., VI, 3, S. 1755. — [111] Plutarch, Quaestiones naturales, cap. 12. — [112] E. H.-W. Weber, S. 60 ff. — [113] Scoresby, An Account of the Arctic Regions, I, London 1820, S. 239. — [114] Plateau, Sur les lames liquides minces et leurs assemblages, C. R., LIII, S. 461 ff.; Réponse aux objections de M. Marangoni contre le principe de la viscosité superficielle des liquides, B. A. B., XXXIV, S. 401 ff. — [115] van der Mensbrugghe, Sur les moyens proposés pour calmer les vagues de la mer, B. A. B., 1882, S. 176 ff.; L'huile agit-elle sur la houle ou sur le brisant, C. R., XCII, S. 62 ff. — [116] Marangoni, Sur le principe de la viscosité superficielle des liquides établi par M. Plateau, J. Ph., II, S. 77 ff.; Ueber die Ausbreitung der Tropfen einer Flüssigkeit auf der Oberfläche einer anderen, A. P. C., CXLIII, S. 337 ff. — [117] Anleitung für den Gebrauch von Oel zum Glätten der See (Publikation des Reichsmarineamtes), Berlin 1893. — [118] Cloué, Le filage de l'huile et son action sur le brisants de la mer, Paris 1887. — [119] Rottok, Die Beruhigung der Wellen durch Oel, nebst Anweisung für den Gebrauch desselben auf See, Berlin 1888. — [120] Karlowa, Die Verwendung von Oel zur Beruhigung der Wellen, Hamburg 1888. — [121] Raineri, L'olio usato a calmare le onde, Rom 1893. — [122] M. M. Richter, Die Lehre von der Wellenberuhigung, Berlin 1894. — [123] D'Alessandro, Le filet flottant, appareil destiné à calmer les vagues de la mer, Paris 1894. — [124] J. Grossmann, Die Bekämpfung der Sturzwellen durch Oel, Wien 1892. — [125] Halle, Magie oder die Zauberkräfte der Natur, IV, Berlin 1886, S. 566. — [126] W. Köppen, Verhalten der Oele und Seifen auf Wasseroberflächen und Rolle der Oberflächenspannung bei Beruhigung der Wellen, A. H. m. M., XXI, S. 134 ff. — [127] Grossmann, a. a. O., S. 95 ff. — [128] Quincke, Ueber die Entfernung, in welcher die Molekularkräfte der Kapillarität noch wirksam sind, A. P. C., CXXXVII, S. 402 ff.; (2) XXXV, S. 561 ff. — [129] Köppen a. a. O., S. 141. — [130] P. Du Bois-Reymond, Experimentaluntersuchungen über die Erscheinungen, welche die Ausbreitung von Flüssigkeiten auf Flüssigkeiten hervorruft, A. P. C., CIV, S. 207 ff. — [131] H. v. Helmholtz, Ueber atmosphärische Bewegungen, S. A. B., 1889, S. 519 ff. — [132] Köppen, S. 147 ff. — [133] Versuche über das Glätten der See durch Seifenwasser, ausgeführt an Bord von S. M. Schiffen, A. H. m. M., XXIII, S. 164 ff. — [134] Köppen, Glättung der Meereswellen durch Seifenwasser, ebenda, XXIV, S. 136 ff. — [135] Plateau, Statique des liquides soumis aux seules forces moléculaires, I, Paris 1873, S. 210 ff. — [136] Sohncke, Die schliessliche Dicke eines auf Wasser sich ausbreitenden Oeltropfens, A. P. C., (2) XL, S. 345 ff. — [137] Lord Rayleigh, Measurements of the Amount of Oil necessary in Order to check the Motions of Campher upon Water, N., XLII, S. 43 ff. — [138] Röntgen, Ueber die Dicke von kohärenten Oelschichten auf der Oberfläche des Wassers, A. P. C., (2) XLI, S. 321 ff. — [139] Drude, Ueber die Grösse der Wirkungssphäre der Molekularkräfte und die Konstitution von Lamellen der Plateauschen Glyzerin-Seifenlösung, ebenda, (2) XLIII, S. 158 ff. — [140] Oberbeck, Ueber die Eigenschaften dünner Oelschichten auf einer Wasserfläche, ebenda, XLIX, S. 366 ff. — [141] Reynold-Rücker, The Thickness of Soap-Films, N., XVI, S. 332 ff.; On the Thickness and Electrical Resistance of thin Liquid Films, P. T., 1893, S. 505 ff. — [142] K. T. Fischer, Die geringste Dicke von Flüssigkeitshäutchen, München 1897. — [143] Ebenda, S. 61 ff. — [144] Arneth, Geschichte der reinen Mathematik, Stuttgart 1852, S. 150. — [145] Rosenberger, a. a. O., III, S. 145. — [146] Whewell-J. v. Littrow, Geschichte der induktiven Wissenschaften, II, Stuttgart 1840, S. 131 ff. — [147] Th. Young, On the Theory of Light and Colours, P. T., 1802, S. 12 ff.; Experiments and Calculations relative to Physical Optics, ebenda, 1804, S. 1 ff. — [148] E. H.-W. Weber, S. 4 ff. — [149] Sarasin, Limnimètre enrégistreur transportable, A. s. p. n., (3) II, S. 724 ff. — [150] Supan, Grundzüge der physischen Erdkunde, Leipzig 1896, S. 227. — [151] Günther, Von den rhythmischen Schwankungen des Spiegels geschlossener Meeresbecken, M. G. G. W., 1888, S. 497 ff. — [152] Capper-Forel, Tidal Phaenomenon in Lake Constance, N., XXI, S. 397, 443. — [153] Korrespondenznachricht aus Stettin, W., IV, S. 120 ff. — [154] Forel, Le Léman; monographie limnologique. II, Basel-Genf-Lyon 1895, S. 39 ff. — [155] Cantor, a. a. O., III, S. 247 ff. — [156] Fatio de Duillier, Remarques sur l'histoire naturelle du lac de Genève, bei Spon, Histoire de Genève, II, Genf 1730, S. 463. — [157] G. P. W., VIII, S. 737 ff. — [158] Jallabert, Seiches ou flux et reflux du lac de Genève, H. A. P., 1742, S. 26 ff. — [159] Forel, a. a. O., II, S. 42. — [160] Saussure, Voyage dans les Alpes, I, Neuchatel 1779, S. 12. — [161] Vaucher, Mémoire sur les Seiches du lac de Genève, Genf 1833; V. M. P. N, X, S. 503 ff. — [162] Ebenda, XII, S. 57. — [163] Addison, Miscellaneous Works, IV, London 1745, S. 294. — [164] Vaucher, a. a. O., S. 75. — [165] Ratzel, Die Vereinigten Staaten von Nordamerika, I, München 1878, S. 251 ff. — [166] J. D. Graham, A Lunar Tidal Wave in Lake Michigan, Philadelphia 1860. — [167] Ferrel, Tidal Researches, U. S. C. R., Washington 1874, S. 250 ff. — [168] Supan, a. a. O., S. 239. — [169] Forel, II, S. 51 ff. — [170] Le Conte, Physical Studies on Lake Tahoe, O. M., 1884, I, S. 43. — [171] v. Hoff, Verzeichnis von Erdbeben, vulkanischen Ausbrüchen und ähnlichen Naturerscheinungen seit dem Jahre 1821, A. P. C., IX, S. 594 ff. — [172] Letronne, Recherches géographiques et critiques sur le livre de mensura terrae par Dicuil, Paris 1814, S. 64. — [173] Pontoppidan-Scheiben, Versuch einer natürlichen Historie von Norwegen, I, Kopenhagen 1753, S. 136. — [174] R. Wolf, Notizen zur schweizerischen Kulturgeschichte, Nr. 352. — [175] Forel-Graf Zeppelin, Die Schwankungen des Boden-Sees, Lindau i. B. 1893 (S. V. G. B. U., XXII, S. 49 ff.). — [176] Forel, Le Lac etc., II, S. 50 ff. — [177] Du Pasquier, Sur les seiches du lac de Neuchâtel d'après les recherches de Mr. E. Sarasin, Neuchâtel 1893. — [178] Westenrieder, Der Würm- oder Starnbergersee und die umliegende Gegend, München-Burghausen 1811, S. 111. — [179] Boll, Geognosie der deutschen Ostseeländer zwischen Eider und Oder, Neubrandenburg 1846, S. 36 ff. — [180] Resultate der wissenschaftlichen Erforschung des Platten-Sees, I, 3, Wien 1897. — [181] Ebenda, S. 104. — [182] Sieger, Seeschwankungen und Strandverschiebungen in Skandinavien, Z. G. E. B., XXVIII, S. 1 ff. — [183] Ebenda, S. 73. — [184] Wallerius, De statione fluminum, Upsala 1704. — [185] Sieger, Seiches an norwegischen Seen, G. Z., III, S. 532. — [186] B. Br., VI, S. 184. — [187] Günther, Luftdruckschwankungen in ihrem Einflusse auf die festen und flüssigen Bestandteile der Erdoberfläche, B. G., II, S. 136 ff. — [188] R. Merian, Ueber die Bewegung tropfbarer Flüssigkeiten in Gefässen, Basel 1828. — [189] Du Boys, Sur le mouvement de balancement rhytmé de l'eau des lacs (seiches), C. R., CXII, S. 1202 ff.; Du Boys-Forel, Essai théorique sur les seiches, A. s. p. n., XXV,

S. 628 ff. — [190] Forel, II, S. 76. — [191] Sarasin, Des mouvements oscillatoires du Lac Léman, A. s. p. n., (3) IV, S. 383 ff. — [192] Forel-Soret, Les seiches dicrotes, ebenda, (3) III, S. 1 ff. — [193] Guthry, On stationary liquid Waves, P. P. S. L., I, 1875. — [104] Forel-Graf Zeppelin, a. a. O., S. 68. — [195] Forel, Seiches and Earthquakes, N., XVI, S. 281. — [196] Forel, II, S. 189. — [197] Resultate etc., S. 67 ff. — [198] Ph. Plantamour, Seiche occasionnée par le cyclone du 20 février 1879. A. s. p. n., (3) I, S. 335 ff. — [199] Forel, II, S. 241 ff. — [200] Ebenda, II, S. 248. — [201] Günther, Lehrbuch der Geophysik und physikalischen Geographie, II, Stuttgart 1885, S. 376. — [202] Siber, Fragmente zu einer Geschichte der Meteorologie, K. A. C. M., VI, S. 377. — [203] Krümmel, Zum Problem des Euripus, P. G. M., XXXIV, S. 210 ff.; A Tidal Problem, N., XXI, S. 186. — [204] Miaulis, *Περὶ τῆς παλλιῤῥοίας τοῦ Εὐρίπου*, Athen 1882. — [205] v. Boguslawski-Krümmel, II, S. 147. — [206] Airy, On the Tides of Malta, P. T., 1878, S. 123 ff. — [207] v. Boguslawski-Krümmel, II, S. 149. — [208] Koopmann-Walter-Breusing, Das Seebuch, Bremen 1876, S. 31. — [209] H. Berger, Geschichte der wissenschaftlichen Erdkunde der Griechen, II, Leipzig 1889, S. 113 ff. — [210] Ebenda, II, Leipzig 1891, S. 25. — [211] Lentz, Von Ebbe und Flut des Meeres, Hamburg 1874. — [212] Kreidel, Untersuchungen über den Verlauf der Flutwellen in den Ozeanen, Frankfurt a. M. 1889. — [213] G. P. W., III, S. 1 ff. — [214] Le Corguillé, Étude rationnelle des marées, Paris 1898. — [215] Krümmel, Ueber Gezeitenwellen, Kiel 1897. — [216] v. Boguslawski-Krümmel, II, S. 154 ff. — [217] Müllenhoff, Deutsche Altertumskunde, I, Berlin 1880, S. 364 ff. — [218] Plinius, Historia naturalis, lib. II, cap. 99. — [219] Venerabilis Bedae, Anglo-Saxonis Presbyteri, Opera omnia, ed. Migne, I, Paris 1862, S. 187 ff. — [220] Peschel-Ruge, Geschichte der Erdkunde bis auf A. v. Humboldt und C. Ritter, Müchen 1877, S. 447 ff. — [221] Airy, The Laws of the Tides on the Coast of Ireland, London 1845, S. 38 ff. — [222] Handbuch der Ozeanographie und maritimen Meteorologie, I, Wien 1883, S. 447. — [223] G. P. W., III, S. 13. — [224] Bessel-Schumacher, Vorlesungen über wissenschaftliche Gegenstände, Hamburg 1848, S. 167. — [225] G. P. W., III, S. 53 ff. — [226] Romme, Tableau des vents, des marées et des courants, Paris 1817. — [227] Krümmel, Ueber etc., S. 5. — [228] G. P. W., III, S. 56; P. T., 1684, S. 681; M. P., VII, S. 777 ff. — [229] Ableitung der Flutkonstanten zu Wusung und Amoy, A. H. m. M., XI, S. 206. — [230] P. Hoffmann, Die Ebbe- und Fluterscheinungen im Golfe von Tongkin, ebenda, X, S. 61 ff. — [231] v. Boguslawski-Krümmel, II, S. 221. — [232] Krümmel, Ueber etc., S. 7. — [233] A. Girard, Les oeuvres mathématiques de Simon Stevin de Bruges, Leiden 1634, S. 177 ff. — [234] Irminger, Ueber Ebbe und Flut im kleinen Belt bei Fredericia, Z. d. E., II, 5. Heft. — [235] Paschen, Ueber die Wahrnehmbarkeit der Ebbe und Flut in der Ostsee, A. L. G. M., VI, S. 137 ff.; v. Schultén, Försök, at förklara orsaken till vattnets stigande och fallande, samt derigenom uppkommande strömdrag i Oestersjön, Stockholm, 1866; A. P. C., XXXVI, S. 314 ff.; Lorenz v. Liburnau-Rothe, Lehrbuch der Klimatologie mit besonderer Rücksicht auf Land- und Forstwirtschaft, Wien 1874, S. 190; Sieger, a. a. O., S. 69 ff. — [236] Ackermann, a. a. O., S. 147 ff. — [237] Toaldo, Epistola de reciproco aestu maris Veneti, P. T., 1777, S. 144 ff.; Vigan, Étude sur la Méditerranée, Paris 1882. — [238] Brückner, Die Schwankungen des Wasserstandes im Schwarzen Meer und ihre Ursachen, M. Z., III, S. 308. — [239] v. Boguslawski-Krümmel, II, S. 219. — [240] Günther, Der Einfluss etc., S. 129. — [241] Lubbock, On the Fluctuations of the Heights of High Water doe to the Changes in the Atmospheric Pressure, P. M., 1837, S. 195 ff. — [242] K. J., VIII, S. 156 ff. — [243] Börgen, Die Gezeitenerscheinungen im Irischen Kanale, A. H. m. M., XXII, S. 395 ff. — [244] Ebenda, S. 400. — [245] Chalmers, Report on the Surface Geology of Eastern Brunswick, Geological Survey of Canada, Ann. Rep. (1894), Ottawa 1896. — [246] Günther, Geophysikalische Betrachtungen über das Stauungsphänomen und über Naturfontänen, N. O., XXXV, S. 11 ff. — [247] D. Bernoulli, Hydrodynamica sive de viribus et motibus fluidorum commentarii, Strassburg i. E. 1738, S. 132 ff. — [248] G. F. Parrot, Grundriss der theoretischen Physik, I, Riga-Leipzig 1809, S. 393 ff. — [249] P. G. W., VIII, S. 979 ff. — [250] Dühring, Kritische Geschichte der allgemeinen Prinzipien der Mechanik, Berlin 1873, S. 133 ff. — [251] v. Fritsch, Allgemeine Geologie, Stuttgart 1888, S. 30. — [252] Calderon, Études de physique géologique, B. S. G. F., (3) XV, S. 38 ff. — [253] Viallon, Traité d'un nouveau moyen pour élever les eaux, Paris 1798; Eytelwein, Beschreibung und Abbildung des hydraulischen Widders, Leipzig 1806; G. P. W., VIII, S. 1103 ff.; Lommel, Lexikon der Physik und Meteorologie, Leipzig 1882, S. 313. — [254] Springbrunnen und unterirdisches Donnern, durch das Meer veranlasst, A. P. C., XXXIII, S. 349 ff. — [255] P. Partsch, Bericht über das Detonationsphänomen auf der Insel Meleda bei Ragusa, Wien 1826; Stulli, Sulle detonazioni dell isola di Meleda, Ragusa 1823. — [256] J. Braun, Das Land der Basken, Jb., XIII, S. 381. — [257] Eisvulkane, A., LVII, S. 859. — [258] A. Girard-Stevin, a. a. O., S. 177 ff.; Kästner, Geschichte der Mathematik, III, Göttingen 1799, S. 400. — [259] Newton-Wolfers, Mathematische Prinzipien der Naturlehre, Berlin 1872, S. 411 ff. — [260] G. F. Parrot, Mängel der Theorie der Ebbe und Flut, A. P. C., IV, S. 219 ff. — [261] Drobisch, Versuch zur Beseitigung der von Herrn Prof. Parrot angegebenen Mängel in der Theorie der Ebbe und Flut, ebenda, VI, S. 233 ff. — [262] G. P. W., III, S. 14 ff.; Günther, Elementare Behandlung einiger Punkte der mathematischen Geographie, Z. m. n. U., VII, S. 97 ff. — [263] Diels, Doxographi Graeci, Berlin 1879, S. 383. — [264] Ebenda, S. 382. — [265] Berger, Gesch. etc., III, S. 125 ff. — [266] Ebenda, IV, S. 73 ff.; S. Ruge, Der Chaldäer Seleukos, Dresden 1865. — [267] Berger, IV, S. 75. — [268] Strabon, lib. III, cap. 172 ff.; lib. XVI, cap. 757. — [269] Mehren, Cosmographie de Shems-ed-dîn de Damas, Kopenhagen 1875, S. 4. — [270] Ethé, Kazwinis Kosmographie, I, Leipzig 1868, S. 212. — [271] Peschel-Ruge, a. a. O., S. 222 ff. — [272] K. Werner, Die Kosmologie und Naturlehre des scholastischen Mittelalters, mit spezieller Beziehung auf Wilhelm von Conches, S. A. W., P. H., 1873, S. 366 ff. — [273] Galilei-Strauss, Dialog über die beiden hauptsächlichsten Weltsysteme, das ptolemäische und das coppernicanische, Leipzig 1891, S. 439. — [274] Ebenda, S. 446 ff. — [275] Ebenda, S. 453 ff., 568. — [276] Favaro, Intorno ad una nuova edizione delle opere di Galileo, Venedig 1881, S. 11. — [277] Bacon de Verulamio, De fluxu et refluxu maris, Opera, Frankfurt a. M. 1665, S. 639 ff. — [278] Rosenberger, a. a. O., II, S. 107. — [279] Pixis, Kepler als Geograph, München 1898 (M. G. St., VI), S. 66 ff.; Günther, Joh. Kepler und der tellurisch-kosmische Magnetismus, Wien-Olmütz 1888, S. 63 ff. — [280] Kepleri Opera omnia, ed. Frisch, VIII, Frankfurt a. M.-Erlangen 1864, S. 118. — [281] Ebenda, V, Frankfurt a. M.-Erlangen 1870, S. 255. — [282] Hederich, Goethe und die physikalische Geographie, München 1898 (M. G. St., V), S. 20 ff. — [283] Hugi, Grundzüge einer allgemeinen Naturansicht, Solothurn 1841. — [284] Gassendi Diniensis Opera omnia in sex tomos divisa, III, Leiden 1642, Abt. 3. — [285] Fournier, L'hydrographie contenant la théorie et la pratique de toutes les parties de la navigation, Paris 1643, S. 449 ff. — [286] Peschel-Ruge, S. 437. — [287] Rosenberger, II, S. 131. — [288] Wallis, De aestu maris hypothesis nova, Oxford 1668. — [289] Varenius-Newton, Geographia generalis, Cambridge, 1672, S. 205 ff. — [290] Newton-Wolfers, a. a. O., S. 448 ff. — [291] Pièces qui ont remporté le prix proposé par l'académie française pour 1740, IV, Paris 1740. — [292] Laplace, Traité de mécanique céleste, Paris 1799–1825, 4. Buch; deutsch von Burckhardt, Berlin 1800, S. 205 ff. —

[293] Zöppritz, Der gegenwärtige Standpunkt der Geophysik, W. G. J., VIII, S. 12. — [294] Weyer, Vorlesungen über nautische Astronomie, Kiel 1871, S. 168 ff. — [295] Kies, De influxu lunae in partes terrae mobiles. Tübingen 1769, S. 21. — [296] Hube, Vollständiger und fasslicher Unterricht in der Naturlehre, III, Leipzig 1794, S. 240 ff.; Fulda, Bemerkungen über Herrn Prof. Hubes Erklärung der Ebbe und Flut, G. N. J. P., IV, S. 28 ff.; J. C. Fischer, Geschichte der Naturlehre, VI, Göttingen 1805, S. 781 ff., 796 ff. — [297] Pièces etc., IV, S. 224. — [298] W. Thomson, On vortex Motion, Gravitational Oscillations in Rotating Water, N., XIX, S. 571 ff. — [299] Lubbock, On the Tides, P. T., 1832, S. 51 ff.; 1833, S. 19 ff.; 1834, S. 134 ff.; 1835, S. 275 ff.; Elementary Treatise on the Tides, London 1839. — [300] Whewell, Essay towards a first Approximation to a Map of Cotidal Lines, P. T., 1833, S. 147 ff.; On the empirical Laws of the Tides in the Port of London, with some Reflexions on the Theory, ebenda, 1834, S. 15 ff. — [301] H. Berghaus, Physikalischer Handatlas, S. 22 ff.; Tab. II, 1. — [302] Peschel-Leipoldt, Physische Erdkunde, II, Leipzig 1885, S. 22. — [303] v. Boguslawski-Krümmel, II, S. 190. — [304] Nürnberger, Populäres astronomisches Handwörterbuch, I, Kempten 1856, S. 266 ff. — [305] Whewell, Researches on the Tides, XIII, P. T., 1848, S. 13 ff.; XIV, ebenda, 1850, S. 227 ff.; On our Ignorance of the Tides, B. A. R., 1851, S. 27 ff. — [306] Ortt-v. Horn, Form und Ursprung der Gezeitenwellen, A. H. m. M., XXIV, 8. u. 9. Heft. — [307] F. Neumann-Pape, Einleitung in die theoretische Physik, Leipzig 1883, S. 138. — [308] Airy, Tides and Waves, S. 5 (245) ff. — [309] Günther, Die Knotenlinien der Atmo- und Hydrosphäre, Festschr. d. Hamb. Mathem. Gesellsch., II, Hamburg 1890, S. 15 ff.; Zur Theorie der Ebbe und Flut, J. G. G. M., XIII, S. 40 ff. — [310] Auerbach, Die theoretische Hydrodynamik, nach dem Gange ihrer Entwickelung in der neuesten Zeit in Kürze dargestellt, Braunschweig 1881, S. 52 ff. — [311] Airy, a. a. O., S. 19 (259). — [312] Ebenda, S. 38 (278) ff. — [313] Ebenda, S. 41 (281) ff. — [314] Börgen, Harmonische Analyse der Gezeitenbeobachtungen, A. H. m. M., XII; Berlin 1885. — [315] v. Boguslawski-Krümmel, II, S. 191 ff. — [316] Airy, S. 82 (325). — [317] Ebenda, S. 112 (355). — [318] Th. Young, Course of Lectures on Natural Philosophy. I, London 1807, S. 576 ff. — [319] K. W. Dove, Ueber die Gestalt der Flutlinien an den amerikanischen und europäischen Küsten, Z. a. E., VI, S. 472 ff. — [320] Ferrel, On an annual Variation in the daily mean Level of the Ocean, and its Cause, A. A. P., 1863, S. 31 ff.; Tidal Researches, C. G. S. R., Washington 1874. — [321] Boguslawski-Krümmel, II, S. 196 ff. — [322] Kassner, Die Gezeitenkonstanten in Finschhafen, A. H. m. M., XIX, S. 274 ff. — [323] Krümmel, Ueber etc., S. 7. — [324] Belcher, Tide Observations at Otaheite, P. T., 1843, S. 55 ff. — [325] van der Stok, Studien over Getijden in den Indischen Archipel (Statistiek), Batavia 1896. — [326] W. Thomson, On Tides, P. R. S., VII, S. 447 ff. — [327] G. H. Darwin, On the Method of Harmonic Analysis used in deducing the Numerical Values of the Tides of Long Period, B. A. R., 1882, S. 319 ff.; Report on the Harmonic Analysis of Tidal Observations, ebenda 1883, S. 49 ff.; Report of the Committee for preparing Instructions for the practical Work of Tidal Observations and for the Harmonic Analysis of Tidal Observations, ebenda, 1886, S. 40 ff.; Darwin-Turner, On the Correction of the Equilibrium Theory of Tides for the Continents, P. R. S., XL, S. 303 ff. — [328] Nippold, Die mathematische und die meteorologische Auffassung der harmonischen Analyse, Z. m. n. U., XXIX, S. 401 ff. — [329] Neumayer, Anleitung zu wissenschaftlichen Beobachtungen auf Reisen, Berlin 1875, S. 82 ff. — [330] Handbuch etc., I, S. 465 ff. — [331] Börgen, Neue Methode, die harmonischen Gezeiten der Konstanten abzuleiten, A. H. m. M., XXII, S. 216 ff., 259 ff., 295 ff. — [332] v. Boguslawski-Krümmel, II, S. 213 ff. — [333] W. Thomson-Tait, Handbuch der theoretischen Physik, deutsch von Helmholtz-Wertheim, I, 2, Braunschweig 1874, S. 362 ff. — [334] R. Wolf, Handbuch der Astronomie, ihrer Geschichte und Litteratur, II, Zürich 1893, S. 388 ff. — [335] A. Heller, Geschichte der Physik von Aristoteles bis auf die neueste Zeit, II, Stuttgart 1884, S. 536 ff.; Sorge, Vorgemach der musikalischen Komposition, Hamburg 1740; Tartini, Trattato de musica, secondo la vera scienza della armonia, Padua, 1754. — [336] H. v. Helmholtz, Die Lehre von den Tonempfindungen auf physiologischer Grundlage, Braunschweig 1863, S. 228. — [337] G. S. Ohm, Definition des Tones und Theorie der Sirene, A. P. C., LIX, S. 513 ff., LXII, S. 1 ff. — [338] v. Helmholtz, a. O., S. 40 ff. — [339] Report of the Committee appointed for the Purpose of Extension, Improvement and Harmonic Analysis of Tidal Observations, B. A. R., 1876, S. 275 ff. — [340] van der Stok, De harmonische Analyse der Getyden, toegepasst op waarnemingen te Tjilatjap, Batavia 1891. — [341] J. Thomson, On an Integrating Machine having a new kinematic Principle, P. R. S, 1876, S. 262 ff. — [342] W. Thomson, On an Instrument for calculating $\int\varphi(x)\,\psi(x)\,dx$, ebenda, 1876, S. 266 ff.; Harmonic Analyzer, ebenda, 1878, S. 371 ff. — [343] Roberts, Preliminary Note on a new Tide Predicter, N., XX, S. 581 ff. — [344] Sommerfeld-Wiechert, Ueber eine neue Integriermaschine, S. p. ö. G. K., XXXII. — [345] G. H. Darwin, On graphical Interpolation and Integration, Mr. M., VI, S. 134 ff. — [346] Challis, On the mathematical Principles of Laplace's Theory of the Tides, P. M., L, S. 544 ff.; W. Thomson, On an alleged Error in Laplace's Theory of the Tides, ebenda, L, S. 227 ff. — [347] Kreidel, a. a. O., S. 5. — [348] Ebenda, S. 15. — [349] van der Stok, Cotidal Lines in the Java- and China-Sea, Batavia 1894. — [350] Segelhandbuch für den Atlantischen Ozean, Berlin 1885, S. 314 ff. — [351] Kreidel, S. 40. — [352] J. F. H. Schultz, Ueber den Einfluss der Strömungen auf den Charakter der vom Winde erzeugten Wellen, R. E., XXII, S. 601 ff. — [353] v. Boguslawski-Krümmel, II, S. 219 ff. — [354] Klönne, Die periodischen Schwankungen des Wasserspiegels in den inundierten Kohlenschächten von Dux, Wien 1880. — [355] Zöppritz, Die Fortschr. etc., W. G. J., IX, S. 5. — [356] W. Thomson, On the Observations and Calculations required to find the Tidal Retardation of the Earth's Rotation, P. M., 1866, S. 583 ff. — [357] G. H. Darwin, On the Effects of Tidal Friction, IVC, S. 217 ff. — [358] Darwin, Problems connected with the Tides of a viscous Spheroid, P. T., 1879, S. 539 ff.; On the geological Importance of Tides, N., XXV, S. 360 ff. — [359] Handbuch etc., I, S. 474. — [360] Ball, A Glimpse through the Corridors of Tides, N., XXV, S. 79 ff.; 103 ff.; Newberry, Hypothetical high Tides, ebenda, XXV, S. 357 ff.; Hull, Ancient Tidal Action and Planes of Marine Denudation, ebenda, XXV, S. 177 ff. — [361] Moseley, The highest Tide on Record, ebenda, XIX, S. 273. — [362] Aug. Schmidt, Wellen und Gezeiten des Festlandes, W. N. J., 1897, S. 230 ff. — [363] Rudzki, Von der Gestalt elastischer Wellen in Gesteinen, B. G., III, S. 519 ff. — [364] W. Thomson, Influence of the Straits of Dover on the Tides of the British Channel and North Sea, N., XIX, S. 152 ff. — [365] v. Boguslawski-Krümmel, II, S. 224 ff. — [366] Ebenda, II, S. 227. — [367] Comoy, Étude pratique sur les marées fluviatiles, Paris 1881, S. 95. — [368] v. Boguslawski-Krümmel, II, S. 253. — [369] Ebenda, II, S. 242. — [370] Weule, Beiträge zur Morphologie der Flachküsten, Z. w. G., VIII, S. 238. — [371] van der Stok, Getystromen in Straat Soerabaya en Madura, Batavia 1896. — [372] Beechey, Report of further Observations upon the Tidal Streams of the Northern Sea and English Channel, P. T., 1851, S. 703 ff. — [373] v. Boguslawski-Krümmel, II, S. 236 ff. — [374] G. P. W., VIII, S. 1217 ff. — [375] Brémontier, Sur le Mascaret, J. ph., LXXIX, S. 220 ff. — [376] v. Boguslawski-Krümmel, II, S. 275 ff. — [377] Comoy, Études pratique etc.;

Andries, Referat hiezu, Z. w. G., V, S. 265 ff. — [378] v. Boguslawski-Krümmel, II, S. 256 ff. — [379] Schück, Das Gebiet der Niederelbe, Hamburg 1891. — [380] v. Halle-R. Koch, Die Cholera in Hamburg in ihren Ursachen und Wirkungen, Hamburg 1893. — [381] Pechuel-Lösche, a. a. O., S. 5 ff. — [382] Franzius, Der Wasserbau (Handbuch der Baukunst, III), Berlin 1890, S. 806. — [383] Partiot, Mémoire sur les marées fluviatiles, C. R., LXXIII, S. 91 ff. — [384] Bazin, Recherches expérimentales sur l'écoulement de l'eau dans les canaux découverts, M. S. E., XIX, S. 1 ff.; Recherches expérimentales sur la propagation des ondes, ebenda, XIX, S. 495 ff. — [385] Comoy, S. 292 ff. — [386] Findlay, The Indian Ocean (4. Aufl.), London 1882, S. 1085. — [387] Fabricius, Der Periplus des Erythräischen Meeres von einem Unbekannten, Leipzig 1883, S. 87; Geographi Graeci Minores, ed. C. Müller, I, Paris 1855, S. 292. — [388] v. Boguslawski-Krümmel, II, S. 276. — [389] G. Schott, Die Springflutwelle in der Mündung des Tsien-tang-kiang, A. H. m. M., XXIV, S. 466 ff. — [390] Reclus, Asie orientale (La Terre et les Hommes, VII), Paris 1882, S. 468. — [391] O. Lenz, Ueber eine der Pororoca ähnliche Fluterscheinung im Quaquaflusse in Südostafrika, P. G. M., XXXV, S. 197 ff. — [392] G. P. W., VIII, S. 1219. — [393] De la Condamine, Relation d'un voyage fait dans l'intérieur de l'Amérique Méridionale, Maastricht 1778, S. 188 ff. — [394] C. S. B., V, S. 249 ff.; A. M., 1824, S. 177 ff.; A. P. C., II, S. 427. — [395] K. F. P. v. Martius, Reise nach Brasilien, III, München 1831, S. 957 ff. — [396] Schichtel, Der Amazonenstrom, Strassburg i. E. 1893, S. 100 ff. — [397] v. Boguslawski-Krümmel, II, S. 270 ff. — [398] Gamauf, Erinnerungen aus Lichtenbergs Vorlesungen über die physikalische Geographie, Wien-Triest 1818, S. 173. — [399] Heger, Die physische und mathematische Geographie, Lübeck 1853, S. 92 ff. — [400] Waser, Skylla und Charybdis in der Litteratur und Kunst der Griechen und Römer, Zürich 1894. — [401] Spallanzani, Beobachtungen über Scylla und Charybdis, G. A. P., V, S. 98 ff. — [402] K. J., II, S. 240 ff.; A. H. m. M., XIX, S. 299 ff.; XXI, S. 505 ff. — [403] van der Wyk, Ueber die niederländischen Flüsse und die Mittel zu ihrer Verbesserung, Deventer 1832, §. 19. — [404] Guieysse, De la propagation des marées dans les rivières, J. m. p. a., (3) I, S. 399 ff. — [405] v. Schleinitz, Ein Beitrag zur Theorie der Wasserbewegung in Strömen, A. H. m. M., VI, S. 225 ff. — [406] v. Boguslawski-Krümmel, II, S. 258. — [407] Ebenda, II, S. 280.

Kapitel V.

Die Strömungsbewegungen im Meere.

§. 1. Vertikale und horizontale Zirkulationen. Der grosse Gegensatz, welcher zwischen undulatorischen und translatorischen Bewegungen obwaltet, wurde bereits im Eingange des vorigen Kapitels (S. 439) in seiner fundamentalen Bedeutung zu kennzeichnen gesucht. Hier haben wir es ausschliesslich mit Bewegungen der zweiten Klasse zu thun. Auch in ihrem Bereiche macht sich aber sofort wieder ein erheblicher Unterschied geltend, der zwei grundsätzlich verschiedene Kategorien von Strömungen auseinanderzuhalten nötigt.

Mit wenigen Worten, wenngleich natürlich nicht vollkommen erschöpfend, lässt sich das Wesen dieses Unterschiedes bestimmen, sobald man den Begriff des Stromfadens einführt. Wir verstehen darunter den von einem bestimmten Wasserteilchen zurückgelegten Weg. Fällt diese Linie wesentlich in eine vertikale Ebene, so sprechen wir kurz von einer Vertikalzirkulation; eine Bewegung, welche zur Entstehung horizontaler Stromfäden Anlass gibt, könnten wir folgerichtig Horizontalzirkulation nennen; doch hat sich dafür die Bezeichnung der Meeresströmungen — im engeren Sinne — derart eingebürgert, dass auch wir an derselben festhalten müssen.

§. 2. Die Vertikalzirkulation der Ozeane. Darüber, dass es auch solche Bewegungen gebe, war man längst unterrichtet, und nachdem schon 1800 Otto [1] (S. 376) eine Zirkulationsbewegung zwischen polaren und äquatorialen Meeresräumen für wahrscheinlich erklärt hatte, häuften sich die Belege für die Richtigkeit dieser Ansicht im XIX. Jahrhundert immer mehr. Doch dauerte es noch lange, bis Carpenter [2] die Thatsache zur allgemeinen Anerkennung zu bringen vermochte. Zöppritz hat dann in dem Fragmente, welches Krümmel in den zweiten Band des viel genannten „Handbuches“ aufnahm [3], die Ge-

samtheit der hierher gehörigen Fragen systematisch dargestellt, und diese Darstellung wird wohl für immer die Grundlage für weitere Studien abgeben.

In einer Erörterung der Frage, wie es komme, dass auch innerhalb der heissen Zone sehr niedrige Tiefseetemperaturen gemessen werden, sprach A. v. Humboldt den Satz aus [4]: „Die Existenz solcher kalter Wasserschichten in niederen Breiten weist auf einen Strom hin, der in der Tiefe von den Polen zum Aequator geht." Auch Arago gedenkt mehrfach eben dieses Sachverhaltes [5], indem er zugleich die von Williams [6] bemerkte Thatsache, dass bei der Annäherung an seichte Stellen eine Abnahme der Meerestemperatur gefunden werde, geeignet verwertet; das kalte Bodenwasser pralle an das Böschungshindernis und werde so zum Aufsteigen gezwungen. Humboldt und Arago unterschieden jedoch nicht zwischen der ihrem Wesen nach richtig von ihnen erkannten Ausgleichsbewegung und den gewöhnlichen Meeresströmungen; dies thaten vielmehr erst A. Erman [7] und Dumont d'Urville [8], der den letzteren gewisse unmerkliche Strömungen zutreffend gegenüberstellte. H. F. E. Lenz [9] charakterisierte diese Art der Bewegung als vertikalen Wirbel; der Ausdruck ist zwar nicht ganz geeignet, die Sache aber korrekt erfasst. Nachdem über die Thatsache selbst kein Zweifel mehr obwalten konnte, ergaben sich naturgemäss Diskussionen aller Art über die Ursache der Vertikalzirkulation, welche auch heute noch nicht als endgültig aufgeklärt anzusehen ist.

Durch Ferrel [10], Buff [11], Sary, dessen Zöppritz gedenkt [12], u. a. wurde die Anschauung verbreitet, dass Temperaturdifferenzen in erster Linie dieses Zuströmen kalten Wassers am Meeresgrunde veranlassten, dem dann natürlich eine vom Aequator zu den Polen gehende Oberflächenbewegung entsprechen musste. Auch Carpenter (s. o.) war in der Hauptsache gleicher Ansicht, und das von ihm angegebene einfache Experiment schien alle Bedenken zu heben. Es stimmt dasselbe im Grundgedanken überein mit demjenigen, durch welches wir (S. 203) nach Vettin das Zustandekommen atmosphärischer Zirkulationen erläuterten, und ist auch in seiner Art ganz beweiskräftig, indem man nur nicht ausser acht lassen darf, dass im Wasser Wärmeausgleichströmungen überaus langsam diesen Ausgleich bewerkstelligen. Das dadurch bezweckte Gefälle zwischen Polarkreis und Gleicher berechnet Zöppritz [13] zu 1 : 1 200 000, also viel zu gering, um eine erkennbare Strömungsgeschwindigkeit hervorzubringen. Hierauf wies entschieden Croll [14] bei seiner Bekämpfung der soeben besprochenen Theorie hin.

Lokale Strömungen von messbarer Geschwindigkeit sind im Bodenwasser allerdings vorhanden. Eine Schwelle zwischen Schottland und den Fär-Öer trennt z. B. ein kaltes und ein warmes Gebiet, und in der Nähe dieser Schwelle treten so auffällige Verbiegungen der anderwärts ziemlich horizontal verlaufenden Isothermflächen in die Erscheinung, dass Strömungen unausbleiblich vorhanden sein müssen. Durch sie kann also das in den Polarregionen niedersinkende, erkältete Wasser streckenweise äquatorwärts fortgeschafft werden. Dafür, dass kühles Oberflächenwasser zu Boden sinkt, haben die Ermittelungen der „Vöringen" (S. 402) einen sicheren Anhalt geschaffen. Hamberg zeigte [15], dass die Wasserdichte in den grönländischen Meeren nach unten zunimmt, obwohl die Temperierung der Schichten vielfach eine poikilotherme (S. 423) ist. Damit ist uns ein Fingerzeig für das Verständnis der Vertikalzirkulation gegeben. „Es kann," sagt Zöppritz [16], „nicht mehr ein Zweifel übrig bleiben, dass die unter dem Einflusse der Schwere zu stande gekommene Schichtung des Meerwassers nach der Dichte, welche durch die Verschiedenheit der Temperatur an verschiedenen Teilen der Erdoberfläche gestört wird, sich immer wieder im Sinne einer langsamen Vertikalzirkulation ausgleicht." Fördernd wirkt das Vorhandensein der den oberflächlichen Schichten eigentümlichen Horizontalzirkulationen; fördernd wirkt auch die starke Verdunstung im Tropengürtel, und auch der Windstau (S. 451), den Zöppritz (a. a. O.) wesentlich nur unter dem Gesichtspunkte des lokalen Vorkommnisses betrachtet hat, kann nach Coldings Untersuchungen [17], an welche Krümmel anknüpft [18], energische Bewegungen auslösen, da der Staueffekt dem Quadrate der Windgeschwindigkeit proportional und der Länge des vom Winde überstrichenen Beckens direkt proportional ist. An freien Meeren zeigt sich nach Lentz [19] die Niveauerhöhung selbstverständlich nur in geringerem Mafse; wenn aber das Wasser nicht ausweichen kann, wie im Asowschen Meere,

so kann der Wind, wie v. Baer [20] mitteilt, Aufstauungen von einer Höhe zuwege bringen, dass man an die Aktion von „Seebären“ zu denken versucht wäre, wenn nicht der Bewegung der rhythmische Charakter fehlte. Diese Gleichgewichtsstörungen müssen sich aber in vertikaler Richtung durch die ganze Wassermasse hindurch fortpflanzen.

Was wir somit über die Natur der grossen ozeanischen Vertikalzirkulationen aussagen können, lässt sich kurz dahin zusammenfassen: Wäre die Dichteschichtung der Meere eine homogene, so gäbe es eine solche Zirkulation nicht. Indem aber abgekühltes Wasser nach unten sinkt, werden auf kleinem Raume Strömungsbewegungen eingeleitet, welche bewirken, dass das dem Meeresgrunde benachbarte Wasser gegen den Aequator und dass das Wasser der oberflächlichen Schichten gegen die Pole hin strömt. Die Grundbewegung ist keine kontinuierliche, zusammenhängende, sondern sie setzt sich zusammen aus einer Reihe an sich unbedeutender, jedoch gleich gerichteter Strömungen, deren Gesamtaktion aber doch eben dazu führt, dass kaltes Polarwasser in die Meere warmer Erdgegenden hinübergeleitet wird. Störungen des oberflächlichen Gleichgewichtes, wie sie durch Temperaturungleichheiten, Differenzen im Verdunstungsgrade und Windstau ausgelöst werden, bedingen regelmässig Ausgleichsströme in grösserer Tiefe, welche zu den erstgenannten unterstützend hinzutreten und einen rascheren Transport des kühlen Grundwassers ermöglichen.

So weit haben wir strenge genommen uns ganz von theoretischen Erwägungen leiten lassen. Jetzt aber tritt die weitere Frage an uns heran: Wo bleibt das polare Bodenwasser, nachdem es in ein Gebiet niedriger Breite gelangt ist? Man wird erwarten dürfen, dass es seine Existenz an diesem Orte dokumentiert, dass es, da es doch unausgesetzt mit wärmeren Meerespartien in Berührung kam, selbst wärmer wird und in die Höhe steigt. Obwohl seine Temperatur jetzt eine höhere ist, als sie in der Zeit war, da das Wasser seinen Weg gegen den Aequator hin antrat, so wird es doch mit relativ niedriger Temperatur sich der Oberfläche nähern. Wenn unsere Annahmen der Wirklichkeit entsprechen, so muss ein Aufquellen kalten Wassers in Gegenden hoher Luft- und Oberflächentemperatur erwartet werden, und in der That wird dieser Schluss durch die Beobachtungen vollauf bestätigt.

Eine ganze Anzahl in diesem Sinne zu interpretierender Thatsachen hat Krümmel [21] mitgeteilt, und von Puff besitzen wir eine Monographie [22], welche den Gegenstand nach allen Seiten hin der Diskussion unterzieht. An den Westküsten der Kontinente war schon früher die auffallende Kälte des Wassers wahrgenommen worden, ohne dass man sich von dem ursächlichen Zusammenhange Rechenschaft zu geben vermocht hätte. So hatten Nares und Buchanan gefunden [23], dass auf der Höhe von Mogador (Marokko) die Temperatur der Meeresfläche um 5 bis 6 Grade hinter jener der nächsten spanischen Küstengewässer zurückblieb; so fand, wie P. Hoffmann [24] berichtet, Bourke an der Mündung des Gambia zwischen Meer- und Flusswasser einen Wärmeunterschied von ebenfalls rund 6 Grad. „Im Nordpazifischen Ozean erstreckt sich das kalte Küstenwasser nordwärts vom Kap San Lucas bis über San Francisco hinaus“ [25]. Diese und noch gar manche andere Nachrichten zusammenhaltend, kommt Puff zu dem Schlusse [26]: „Das kalte Wasser in unmittelbarer Nähe der Ostküste des Nordatlantischen Ozeans zwischen 40° und 10° n. Br. ist nicht die Folge eines aus höheren nach niederen Breiten eilenden Oberflächenstromes, sondern es stammt aus der Tiefe und wird von hier aus in einem vertikalen Strome dicht unter Land an die Meeresoberfläche gebracht.“ Der Meeresbezirk, innerhalb dessen das kalte Auftriebswasser sich geltend macht, zeichnet sich durch ausserordentlichen Fischreichtum aus [27]. Für den Indischen Ozean ist ebenfalls durch Puff [28] der Auftrieb antarktischen Wassers an der Küste Ostafrikas festgestellt worden; nördlich reicht dessen Gebiet nur bis zum Kap Guardafui, jenseits dessen die starke Erhitzung, welche vom Roten Meere

(S. 427) und vom Golf von Aden ausgeht, den Einfluss einer kälteren Strömung, wenn eine solche allenfalls noch vorhanden wäre, nicht mehr aufkommen lässt. Doch kommen gelegentlich auch da Abkühlungen des Wassers zur Beobachtung [29], welche man nur auf die angegebene Ursache, natürlich in Verbindung mit dem Wehen günstig gerichteter Winde, zurückführen kann. Die schon den Alten bekannten Nebel, welche in Südwestarabien einen grossen Teil des Jahres kennzeichnen und nach Glaser [30] die Kultur des Kaffeebaumes erheblich unterstützen, sind damit auch zur Genüge erklärt.

Wir erkennen somit das Walten eines umfassenden Naturgesetzes. An den Luvküsten (S. 282) der Kontinente, von welchen der herrschende Wind das Wasser wegtreibt, quillt kaltes Wasser aus der Tiefe nach, welches in überaus langsamer, durch Dichteverschiedenheiten bedingter Strömung aus hohen in niedrige Breiten herabgelangt war. Da, wo der Wind — als Passat (S. 198) — jahraus jahrein in gleichem Sinne weht, konstatiert man den Auftrieb und die von ihm bewirkten klimatischen Veränderungen zu jeder Zeit, während an Monsunküsten (S. 200) die halbjährige Periode unverkennbar ist; solange der Jahreszeitenwind gegen das Land weht, erzeugt er eher eine Aufstauung, als eine Niveauerniedrigung, und so ist dem in der Tiefe stets vorhandenen Polarwasser die Gelegenheit zum Aufsteigen in diesen Monaten genommen.

Supan weist darauf hin [31], dass eine Bestätigung dieses Zusammenhanges zwischen Windrichtung und Wasserwärme auch an den Fjorden und Süsswasserseen Schottlands bemerkt worden sei, nachdem Murray [32] für dieselben die Isothermobathen (S. 420) konstruiert hatte. Das warme Wasser zieht mit dem herrschenden Winde, und sein Platz an der Oberfläche wird durch einen aufsteigenden Strom ausgefüllt, der immer wieder aus dem kälteren Tiefenwasser seine Nahrung bezieht.

§. 3. Die Meeresströmungen und die Hilfsmittel ihrer Erforschung.

Wenn wir uns jetzt den Strömungen im engeren Sinne zuwenden, deren Stromfäden dann, wenn sie mit einem noch so kleinen Teile der Oberfläche angehörten, diese auch niemals mehr verlassen, so müssen wir fürs erste die Möglichkeit einer fortschreitenden Wasserbewegung innerhalb des ruhenden Meeres zu verstehen suchen. Es scheint darin ein gewisser Widerspruch zu liegen. In der That lehrt die Geschichte der Meereskunde, dass man nur allmählich, und nicht ohne Widerstreben, eine Thatsache zugegeben hat, mit welcher zu rechnen für den Seemann längst zur dringenden Notwendigkeit geworden war.

Das Altertum kannte aus naheliegenden Gründen fast ausschliesslich jene Strömungen, welche in engen Meeresstrassen die Regel bilden [33], und welche weiter unten (in §. 12) Gegenstand besonderer Betrachtung werden sollen; Strabon erklärt ausdrücklich [34], diese Erscheinung gehe nicht die Geographie, sondern einzig und allein die Physik an. Das freie Meer war Griechen und Römern noch sehr wenig bekannt, und nur von den Strömungen im nordwestlichen Teile des Indischen Ozeans ist in den Segelhandbüchern die Rede, welche jede Merkwürdigkeit der beschriebenen Meere sorgfältig verzeichnen. „So unter anderen der Periplus Maris Erythraei die bei Nordostmonsun stark nach Süden setzende Strömung an der Somaliküste vom Kap Guardafui an zwischen Tabae und Opone (καθ' ὃν τόπον καὶ ὁ ῥοῦς ἕλκει)“ [35]. Von den stärkeren Strömungen, welche weiter südlich das Segeln oft erschwerten, wusste man durch die Araber. Wenn Kazwîni [36] die sonderbar erscheinende Behauptung aufstellt, im Indischen Meere daure Flut und Ebbe je ein halbes Jahr, so ist ersichtlich die Umsetzung der Meeresströmungen gemeint, welche den Monsunwinden sich anpassen. Auch Marco Polo war von der starken Strömung südlich von Sansibar wohl unterrichtet [37]. Die Kunde, welche der grosse Reisende erlangt hatte, spricht sich in

folgenden Worten aus: „Non si naviga ad altre isole verso mezo di, lequale sone in gran moltitudine, se non a questa (Magastar) e a quella di Zenzibar, perche il mare corre con grandissima velocita verso mezo di, di sorte che non potriano ritornare piu a dietro.“ Die Untersuchungen von Wappäus [38], aus denen wir hier vorzugsweise schöpfen, weisen dann ferner, was die fortschreitende Vertrautheit mit den Meeresströmungen anlangt, auf des Columbus Tagebuch [39], sowie auf Cabrals und Pinzons halb unfreiwillige Erforschung der Nordostecke Südamerikas hin [40]. Die relativ kurze Zeit, deren man, von der nach Westen gehenden südäquatorialen Strömung getrieben, zur Durchmessung des Weges zwischen Alter und Neuer Welt benötigte, veranlasste dazu, diese Entfernung viel geringer zu schätzen, als sie in Wirklichkeit ist [41]. Die oben erwähnte Strömung des Kanales von Moçambique lernte als erster Europäer Vasco da Gama kennen, auf den auch die damit zusammenhängende Benennung eines wichtigen Vorgebirges (Kap Corrientes) zurückgeht; die authentischen Angaben darüber findet man am besten beisammen in dem Werkchen von Hümmerich [42]. Auch die pazifischen Ströme waren bereits teilweise den Konquistadoren bekannt, und wenn Urdanetas Wagnis (S. 359), im Jahre 1565 von Asien direkt nach Mexiko zu fahren, den Zeitgenossen eben in diesem Lichte erschien, so muss man an die starke, von Osten kommende Strömung im nördlichen Teile des Pazifik denken, welche das Einschlagen der entgegengesetzten Richtung ein für allemal zu verbieten schien [43]. Erst später zog der mächtige Salzwasserstrom die allgegemeine Aufmerksamkeit auf sich, welcher von Westindien her den ganzen Atlantischen Ozean durchzieht und den Schiffern, als Gulf-Stream, längst nichts Neues mehr war, als endlich Physiker und Geographen den Golfstrom wissenschaftlich zu erforschen sich anschickten. Eine Schrift von Kohl [44] gibt über den Fortschritt dieser Erforschung jeden wünschenswerten Aufschluss.

Schon seit 1500 war man, nachdem die beiden Cabot auch die von Norden her längs der Ostküste Nordamerikas herabziehende kalte Strömung entdeckt hatten [45], mit den Strömungsverhältnissen des Atlantischen Ozeans in den Grundzügen vertraut. Petrus Martyr spricht sich bereits um 1515 recht klar über die Sache aus [46], obwohl erst vier Jahre später Alaminos den Golfstrom seiner ganzen Ausdehnung nach befuhr [47] und dessen Austritt aus der Florida-Strasse klarlegte [48]. Die Meeresströmungen trugen, wie Ruge an Beispielen darthut [49], wesentlich dazu bei, dass man von der ängstlichen Küstenschiffahrt mehr und mehr zur freien Hochseebefahrung überging. Sehr merkwürdige, seiner Zeit vorauseilende Ansichten über die Verwertung der Ströme für die Weltschiffahrt sprach um 1570 H. Gilbert in seiner Denkschrift „Ueber die Ausführbarkeit einer Nordwestfahrt nach Catay und Ostindien“ aus [50]. Varenius war, wenn Kohl im Rechte ist [51], der erste, der auf ein Analogon des Golfstromes an der japanischen Ostküste aufmerksam wurde [52], und bald nachher begegnen wir bei Isaak Vossius [53] einer sehr vollständigen Charakteristik aller Strömungen des nordatlantischen Beckens. Die erste Strömungskarte der Erde lieferte in der zweiten Hälfte des XVII. Jahrhunderts A. Kircher [54], aber es dauerte noch lange, bis die Atlanten bessere Darstellungen des Golfstromes brachten; obwohl die amerikanischen Piloten die Verhältnisse richtig durchschaut hatten, hüteten sie ihr Wissen doch wie ein Geheimnis, und erst durch B. Franklins Karte [55], welche grosses Aufsehen in der nautischen Welt machte, wurde der Sachverhalt genauer bekannt. Den von Kohl angeführten Autoren sind wir noch den fränkischen Naturforscher Schöpf hinzuzufügen in der Lage, der den „Gulfstrom“ sehr eingehend schildert [56]. Er meint, gegen ihn könne kein Fahrzeug die Florida-Strasse passieren; auch habe er am meisten dazu gethan, die Küstengestalt der Vereinigten Staaten zu der zu machen, welche wir jetzt wahrnehmen. In unserem Jahrhundert haben die Forschungen Sabines, Scoresbys, Maurys, Redfields, vor allem aber Rennells [57] die Geographie des Golfstroms stetig gefördert, doch bedarf dieselbe, wie §. 4 ergeben wird, noch immer der weiteren Aufklärung, und es wird auch daran namentlich von amerikanischer Seite auf das rüstigste gearbeitet.

Demjenigen, der nicht selbst Meere befahren hat, wird es immer schwer fallen, sich von der Eigenart der Strömungen ein richtiges Bild zu machen. Unwillkürlich klammert sich unsere Vorstellung an das sich von selbst darbietende Beispiel der festländischen Flüsse, aber P. Hoffmann [58] verwirft einen solchen Vergleich grundsätzlich, und

G. Schott [59] pflichtet ihm darin bei. Es fehlt das wahre Stromgefälle; es fehlen die Ufer; die Fortbewegung erfolgt bald schneller, bald wieder langsamer, jedenfalls weit ungleichmässiger als in den Flüssen. „Sämtliche Darstellungen sind und können nichts weiter sein, als Schemata, die nur sehr, sehr angenähert das geben, was wohl im Durchschnitte beobachtet worden ist. Also vor allem: Man mache sich frei von der Vorstellung der Kontinuität dieser Wasserbewegungen.“ Trotzdem wird, wenn zum kartographischen Bilde übergegangen wird, eine gewisse Schablone, die eben von der Wasserbewegung in Gerinnen hergenommen ist, nicht ganz zu umgehen sein.

Der Mangel fester Ufer würde allerdings nicht hinderlich sein, um die Durchdringung einer ruhigen Wassermasse durch einen Strom klar vorstellbar zu machen. Wer je von einem erhöhten Punkte aus einen Blick auf ein überschwemmtes Flussthal warf, der weiss, dass man den Fluss selbst sich innerhalb des entstandenen Stausees deutlich abzeichnen sieht; mitten im Wasser sind zwei Uferlinien bestimmt erkennbar. Aus didaktischen Gründen mag diese Analogie immerhin verwertet werden, um den der Sache völlig Unkundigen einen ersten Begriff von einer ganz ausserhalb ihres Gedanken- und Anschauungskreises liegenden Sache zu geben; freilich muss dann hinzugefügt werden, dass auch diese Parallele an Unvollständigkeit leidet.

Davon, dass man einfach mit dem Auge das im Meere fortfliessende Wasser als solches unterscheiden könne, ist also keine Rede. Da erhebt sich naturgemäss die Frage, an welchen Kennzeichen denn überhaupt das Vorhandensein einer Meeresströmung zu erkennen sei. Als solche Hilfsmittel hat die Meereskunde die folgenden festgestellt: die Meeresfärbung, die wechselnde Oberflächentemperatur, die Stromverletzungen, die Beobachtungen an Bojen und ganz besonders die Verfolgung auf grössere Entfernungen mittelst der sogenannten Flaschenposten, denen auch die Ortsveränderungen schwimmender Schiffstrümmer und anderer Objekte zugerechnet werden dürfen. Jede dieser Möglichkeiten ziehen wir gesondert in Betracht.

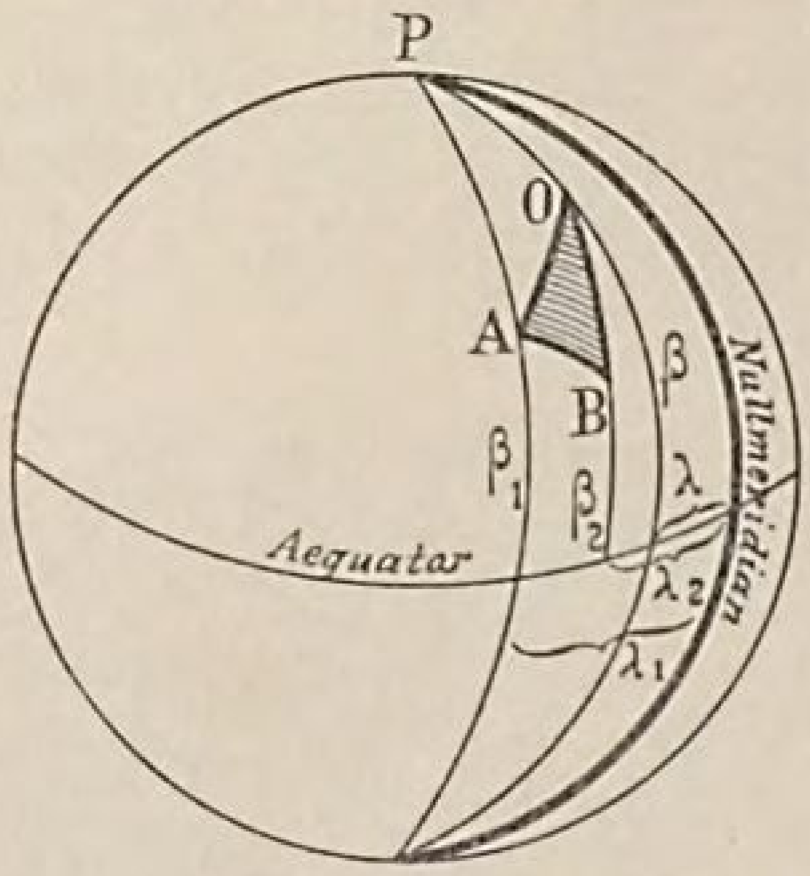
a) Farbenunterschiede. „Höhere Temperatur und grösserer Salzgehalt mancher Meeresteile, im Vergleiche zu den ihnen angrenzenden, verleihen dem Wasser ein intensiveres Blau, wie man z. B. im Golfstrom und im Japanischen Strom wahrnehmen kann“ [60]. Im allgemeinen gilt als Regel, dass warme Meeresströmungen sich durch die Färbung gegen die ruhigen Meerespartien abheben, aber ganz zuverlässige Kriterien sind auf diesem Wege nicht zu erhalten.

b) Temperatur. Es ist Franklins Verdienst, die Messung der Wassertemperaturen, mit welcher ja damals schon (vgl. S. 420) ein Anfang gemacht war, in den Dienst der Nautik gestellt und in den Jahren 1775 und 1776, während ihn seine Pflichten von Philadelphia nach London und wieder zurück führten, den Weg des Golfstromes thermometrisch verfolgt zu haben [61]. Sein Nachfolger in dieser Bestrebung war Blagden [62]; bald nachher wurde die Wahrnehmung gemacht, dass sich mitten in die Gewässer warmer Strömungen Kaltwasserinseln eingebettet vorfinden können [63]. Man war gegen Ende des vorigen Jahrhunderts so weit gekommen, grundsätzlich warme und kalte Strömungen zu unterscheiden, die man — nicht völlig korrekt — auch als äquatoriale und polare bezeichnete; damit war festgestellt, dass genaue, regelmässig wiederholte Messungen der Oberflächentemperatur ein gutes Mittel an die Hand geben mussten, zu ermitteln, ob sich ein Schiff einer Strömung von bestimmtem thermometrischem Charakter näherte.

c) Stromversetzung. Wenn ein Schiff von einem Orte O (Fig. 100) ausgeht, dessen Breite β und Länge λ bekannt sind, so kann, falls es einen festen Kurs δ

einhält, d. h. wenn δ der mit den Meridianen gebildete loxodromische Winkel (I, S. 298) ist, und wenn — nach Logmessung — eine Distanz d zurückgelegt ward, erwartet werden, dass sich dieses Schiff am Ende der zu d gehörigen Zeit in dem Punkte A befinde; die Breite β_1 und Länge λ_1 dieses Ortes lassen sich, unter P den nächst gelegenen Pol verstanden, dem loxodromischen Dreieck A O P ($\sphericalangle$ O A P $= \delta$) entnehmen. Nun zeigt erneute astronomische Beobachtung am Schlusse des fraglichen Zeitraumes, dass das Schiff thatsächlich in B (Breite β_2, Länge λ_2) angekommen ist. Wirken nicht besondere Umstände mit, so muss eine Strömung die Breitendifferenz ($\beta_1 - \beta_2$) und die Längendifferenz ($\lambda_1 - \lambda_2$) verschuldet haben; es hat eine Stromversetzung stattgefunden, und durch geeignete Kombination von Schiffsrechnung und Beobachtung lässt sich aus dem sphärischen Dreieck A B O Richtung und mittlere Geschwindigkeit der ablenkenden Strömung berechnen. Zumeist können, wie Schotts Beispiele [64] ersehen lassen, ebene Dreiecke an die Stelle der krummflächigen treten, was natürlich die Arbeit ganz beträchtlich erleichtert. Auf grosse Genauigkeit will dieses Verfahren keinen Anspruch machen, weil eben die konkurrierenden Nebeneinflüsse zu wenig zu übersehen sind; wenn die Versetzung nicht mehr als höchstens fünf Seemeilen ausmacht, so wird im Schiffstagebuche notiert: „Kein Strom" [65]. Eine übersichtliche Zusammenstellung der notwendigen Formeln gibt Breusing [66]; auch braucht man gar nicht zu rechnen, wenn man sich der von diesem Nautiker mitgeteilten Grad- oder Strichtafel [67] bedient, deren Zweck es ist, zu zwei gegebenen Bestimmungsstücken eines rechtwinkligen Plandreieckes die beiden fehlenden durch tabellarisches Aufschlagen zu liefern.

Fig. 100.



d) Bojen und besondere Apparate. Schon Columbus schloss auf die Existenz eines Stromes, wenn er sah, dass die Leine, an welcher das Senkblei (S. 396) hing, mit der Lotrichtung einen Winkel bildete, und bald ward es üblich, an einem ins Meer hinabgelassenen schweren Körper (Kessel u. dgl.) die Stromabtrift zu messen [68]. Strombojen, wie sie in Hafenplätzen zur Markierung gewisser, für die Abgrenzung des Fahrwassers wichtiger Stellen verwendet werden, sind von der Challenger-Expedition (S. 402) systematisch angewendet worden, und als eine Modifikation dieses einfachen Apparates kann derjenige von Mitchell gelten [69]. Für grössere Tiefen eignet sich eine Vorrichtung von Aimé [70]; eine Platte, deren Zweck ganz der einer Windfahne (S. 72) ist, wird in den Weg der Strömung gebracht, und unter der Einwirkung derselben stellt sich die horizontale Achse jener Platte in einer ganz bestimmten Richtung ein, die dadurch festgehalten wird, dass eine Scheibe mit 32 vertikal nach unten gerichteten Zähnen hinabfällt und die Achse zwischen zweien dieser Hervorragungen festklemmt. In dieser Stellung stabilisiert, bildet die Achse einen leicht messbaren Winkel mit der magnetischen Nordsüdlinie, und wenn man also die geomagnetische Deklination (I, S. 511) kennt, so ist auch die Richtung der Strömungsbewegung gegeben. An der Oberfläche und in geringer Tiefe sind auch Harlachers [71] Instrumente zur Messung der Stärke und Richtung des strömenden Wassers in Flüssen anwendbar.

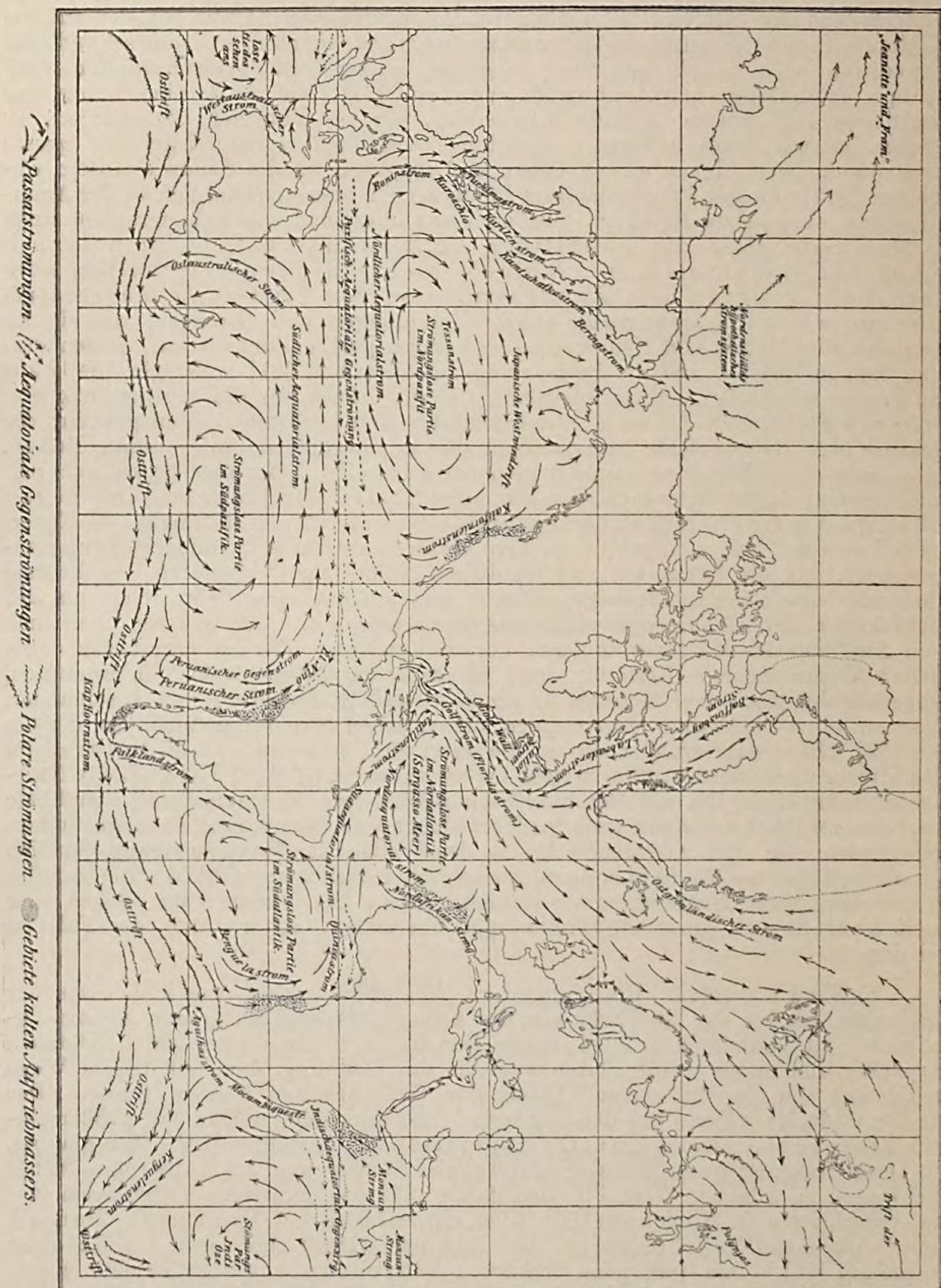
e) Treibkörper. Die durch Ausläufer des Golfstromes forttransportierten Gegenstände haben bekanntlich dem Plane des Columbus, Asien von Osten her erreichen zu wollen, eine wirksame Unterstützung geliehen. A. v. Humboldt führt dies des näheren aus [72]. „Zwei Leichname, die nach ihrer Körperlichkeit einem unbekannten Menschenstamme angehörten, wurden gegen Ende des XV. Jahrhunderts bei den Azorischen Inseln ans Land geworfen. Ungefähr um dieselbe Zeit fand Columbus' Schwager Peter Correa, Statthalter von Portosanto, am Strande dieser Insel mächtige Stücke Bambusrohr, die von der Strömung und den Westwinden angeschwemmt worden waren. . . . Häufig werden Früchte verschiedener Bäume der Antillen an den Küsten der Inseln Ferro und Gomera angetrieben." Die schwimmenden Seekräuter (Gulf-Weed), welche später, wenn die Triebkraft des Stromes nachgelassen hat, einen Bestandteil des Sargassomeeres (S. 390) zu bilden pflegen, hatten schon früher Beachtung gefunden, und 1602 verfolgte Kapitän Gosnold diese Treibpflanzen bis in nicht sehr grosse Ent-

fernung von der europäischen Küste [73]. Gegen Ende dieses Jahrhunderts veranlasste Mackenzie [74] eine Diskussion über die neu aufgetauchte Streitfrage, ob gewisse an der westschottischen Küste angeschwemmte Pflanzenkörper aus West- oder aus Ostindien stammten, und 1772 wird von amerikanischen Schildkröten berichtet [75], welche von den Bewohnern der Hebriden gefangen worden seien. Aber auch weiter östlich thut sich die grosse atlantische Strömung in Anschwemmungen aller Art kund. Irminger berichtet [76], dass auf den Fär-Öer und in Südgrönland zum öfteren Glaskugeln gefunden wurden, welche nur von den auf den Shetlands-Inseln gebrauchten Fischernetzen herrühren konnten, und die schwedische Expedition nach Spitzbergen fand sogar auf dieser fernen, eisumstarrten Inselgruppe Treibkörper tropischer Provenienz [77], wie z. B. eine Bohne der westlichen Hülsenfrucht Entada gigalobium, vor. — Von den Strömungen der Südsee ist Aehnliches bekannt. Japanische Dschonken wurden durch die grosse Ostströmung weit hinaus in den Ozean und sogar bis an die Sandwich-Inseln verschlagen [78]; an der Vancouver-Insel landete 1881 eine ursprünglich in der Amurmündung ausgesetzte Boje [79]. Insbesondere aber sind die Ethnographen auch darüber einig, dass die gewaltigen Völkerwanderungen der polynesischen und melanesischen Archipele nicht durchweg freiwillig, sondern häufig unter dem Zwangseinflusse von Luft- und Meeresströmungen vor sich gegangen sind. Erzählungen und Märchen, wie sie im Bereiche der Maoris von Neu-Seeland Schirren [80] gesammelt hat, lassen darüber keinen Zweifel, und die Besiedelung der Osterinsel [81] weist gleichfalls auf die grosse pazifische Aequatorialströmung hin. — Auch für die Verfrachtung von Holz aus südlicheren bis in die unwirtlichsten und höchsten Breiten gewährt die Lektüre der Reiseberichte von Nordpolfahrern verschiedene interessante Belege, deren nur einige [82] hier namhaft gemacht sein sollen. Kurz, es lassen sich Beispiele genug dafür erbringen, dass in allen Theilen der Erdmeere eine regelmässige Verfrachtung schwimmender Gegenstände stattfindet. — Neuerdings hat man, wie erwähnt, auch den Wracks zerstörter Schiffe Beachtung zugewendet, und die bekannten amerikanischen „Pilot-Charts“ vermerken regelmässig die von denselben zurückgelegten Wege, was auf der einen Seite schon um der Sicherheit anderer Fahrzeuge willen geschehen muss, auf der anderen aber auch dem Studium der Meeresströmungen Vorschub leistet. Freilich ergibt sich dabei manch überraschender Umstand, denn als z. B. der „Fred Taylor“ entzweibrach, befanden sich nach drei Monaten dessen Vor- und Hinterteil so weit auseinander, dass an eine Versetzung durch einen einheitlichen Strom gar nicht zu denken war [82]. Hier darf wohl auch an die merkwürdige schwimmende Insel im Atlantik erinnert werden, über welche Ochsenius (P. G. M., XXXIX, S. 44) Nachrichten sammelte. Ein mit Buschwerk bedecktes, von der amerikanischen Küste losgerissenes Uferbruchstück trieb ins Meer hinaus und konnte dort so lange umherschwimmen, bis die zerstörende Arbeit der Wellen den Zusammenhang gänzlich gelockert hatte. — Bis hierher handelte es sich lediglich um Objekte, die zufällig in den Weg einer Meeresströmung geraten waren. Man kann einer solchen aber auch absichtlich geeignete Treibkörper übergeben, so wie dies der Fall ist bei den

f) Flaschenposten. Die Columbus-Biographie meldet uns [83], dass der Entdecker, als bei der Rückkehr von der ersten Reise ein Sturm sein kleines Geschwader zu vernichten drohte, seinen Bericht in einem wasserdichten Kästchen verpackte und dieses in die Fluten warf, in der Hoffnung, dass auf diesem Wege wenigstens ein Bericht seiner Thaten der Welt erhalten bleiben werde. Der gleiche Gedanke waltete bei den englischen Seeleuten ob, welche seit 1782 mehrfach Flaschenversuche („Bottle Experiments“) anstellten [84]. Man glaubte, auf ihren Ausgang gestützt, eine nordöstliche Abzweigung des Golfstromes sicher nachweisen zu können. Was bis zum Jahre 1837 an derartigen Ergebnissen vorlag, verarbeitete H. Berghaus [85], aber ein französischer Hydrograph, Daussy, lieferte die erste Flaschenkarte, der dann bald (1843) eine solche von Belcher nachfolgte [86]. Den passenden Ausdruck Flaschenposten gebrauchte zuerst Neumayer [87] bei seiner Beschreibung einer Flaschenirrfahrt von besonders langer Dauer. Auch die Folgezeit verlor, obschon sich manche ungünstige Stimmen über den Wert des Verfahrens vernehmen liessen, dieses doch mit gutem Rechte nicht aus dem Auge, und Prinz Albert von Monaco organisirte, in Verbindung mit Pouchet, einen regelmässigen Flaschen-Beobachtungsdienst für die Nordhälfte des Atlantischen Ozeans, über den man durch das ozeanographische Werk

des Prinzen und mehrere Einzelmitteilungen [88] unterrichtet ist. Verschwand auch eine grosse Zahl der dem Meere anvertrauten Schwimmer, die übrigens nicht bloss Flaschen im strengen Wortsinne waren, so gewährten die glücklich aufgefischten oder angetriebenen Exemplare doch immerhin nützliche Aufschlüsse. Das Reper-

Fig. 101.



torium der Deutschen Seewarte (S. 359, 392) verfügt über eine stattliche Menge von Flaschennachrichten, und nachdem diese von G. Schott einer kritischen Bearbeitung [89] unterzogen worden sind, ist diese zweifellos das zuverlässigste Hilfsmittel für die Beurteilung des Wertes der Methode geworden. Hier können nur einige

der bemerkenswertesten Ergebnisse eine Stelle finden. Als ein solches ist die Erkenntnis anzuführen [90], dass die Flaschen keineswegs — wie einzelne glaubten — nur dem Winde, und nicht dem Strome folgen; damit ist gesagt, dass sie wirklich dazu geschickt sind, den letzteren zu signalisieren. Auch dann, wenn Strom- und Windrichtung sich nicht decken, ist die erstere die für den Weg der Flasche massgebende [91]. Als grösste bislang von einem Treibkörper zuverlässig zurückgelegte Distanz ist [92] diejenige von angenähert 9000 Seemeilen (16 700 km) festzuhalten; der Weg verbindet das Vorgebirge der guten Hoffnung mit der westaustralischen Küste.

Es gibt somit verschiedene und auch in ihrer Wertung verschiedenartige Mittel, über den Verlauf der terrestrischen Meeresströmungen ins klare zu kommen. Die direkte Methode, aus dem von Treibkörpern zurückgelegten ozeanischen Wege Schlüsse zu ziehen, wie sie schon von Gumprecht [93] empfohlen und seitdem mehrseitig ausgebildet wurde, verspricht auch für die Folgezeit brauchbare Resultate. Auch ist zumal durch Schotts Ermittelungen (s. o.) eines der wenigen scheinbar gewichtigen Bedenken, welche sich gegen die Ausnützung der Flaschenreisen erheben liessen, aus der Welt geschafft worden. Sehen wir nun zu, was bisher an gesicherten Thatsachen bezüglich der Geographie der Meeresströmungen vorliegt; zu dem Ende wollen wir die grossen Meeresräume der Erde nacheinander durchmustern. Die Uebersichtskarte in Fig. 101 soll dabei zur Richtschnur dienen. Dieselbe nimmt hauptsächlich Supans Karte 15 in seinem viel benützten Lehrbuche zum Vorbilde und adoptiert insonderheit dessen Einteilung in Passatströmungen, Gegenströmungen und Polarströmungen. Möglicherweise sind auf jener die Strömungslinien immer noch zu realistisch gehalten, allein wenn man, wie dies vielleicht sachlich am empfehlenswertesten ist, sich ausschliesslich der Richtungspfeile bedienen will, so muss natürlich die Karte an Uebersichtlichkeit etwas verlieren. Bemerkt muss werden, dass die Strombezeichnung eine der üblichen Windbezeichnung gerade entgegengesetzte ist; ein östlicher Strom z. B. kommt vom Westen und richtet sich gegen Osten.

§. 4. **Die Strömungen des Atlantischen Ozeans.** Durch die britische Meteorologische Kommission [94], eine Arbeit von Koldewey [95] und die Veröffentlichungen von Krümmel [96], sowie auch das österreichische Admiralitätshandbuch [97] (Attlmayr und E. Mayer) und die mehrerwähnte Schrift von P. Hoffmann [98] ist das Bild der atlantischen Strömungen in einem Masse geklärt worden, dass dessen Hauptzüge kaum mehr einer Veränderung teilhaftig werden dürften. Fest steht vornämlich eines: Sowohl im nördlichen, wie auch im südlichen atlantischen Becken existiert je ein in sich abgeschlossenes Zirkulationssystem; doch sind beide Systeme nicht getrennt, sondern es besteht zwischen beiden eine Stromverbindung.

Der nördliche Aequatorialstrom wurde um die Mitte des XIX. Jahrhunderts von dem Engländer Findlay im wesentlichen zutreffend kartographisch fixiert [99]; er ist nach Breite und Stromgeschwindigkeit veränderlich und hält stets eine westliche Richtung ein, im Anfang mehr WSW, gegen die Kleinen Antillen hin mehr WNW. Weitaus energischer tritt der südliche Aequatorialstrom, auch Hauptäquatorialstrom, auf, welcher auf die nördliche Halbkugel übergreift. Zwischen beiden ist die entgegengesetzt gerichtete Guineaströmung eingeschaltet, deren Verhältnisse das holländische Meteorologische Institut in

einer besonderen Veröffentlichung [100] aufzuhellen bestrebt war. Die namhaften Breitenschwankungen dieser Strömung sind schon seit geraumer Zeit bekannt [101]. Der südliche Strom unterliegt, nahe an die brasilianische Küste bei Kap San Roque herangetreten, einer Stromteilung, und da hier jene Küste unter rechtem Winkel in den Ozean vorspringt, so stehen auch die beiden Stromzweige, welche an der Gabelungsstelle entstehen, angenähert aufeinander senkrecht. Der südliche Zweig heisst Brasilienströmung und geht zunächst an der Küste hin, entfernt sich aber von ihr etwa unter dem 30.° s. Br., indem hier eine Nordströmung, als Falklandstrom bekannt, vom Kap Hoorn heraufkommt und erstere abdrängt. Die Brasilienströmung biegt in ausgesprochenem Knie gegen Osten um, durchquert den Atlantik seiner ganzen Breite nach und erreicht wieder den Anschluss an den Hauptäquatorialstrom durch das Mittelglied der längs der portugiesischen Küste in Südwestafrika nördlich hinaufziehenden Benguelaströmung. Damit ist also jener südatlantische Ring von Passatströmungen geschlossen, dessen wir vorhin erwähnten, und in dessen Innerem das Meer so gut wie ganz strömungslos ist. Das Vorhandensein dieser südlichen Zirkulation wurde hauptsächlich durch die Reisen von Marchand, D'Entrecasteaux und v. Krusenstern eruiert [102], welch letzterer vom Aequator südlich zu steuern bemüht war, trotzdem aber tagtäglich weit nach Westen von seinem Kurse abgelenkt wurde [103].

Von entschieden weit grösserer Bedeutung noch ist das zugeordnete Zirkulationssystem im Nordatlantik, weil hier der schon oft genannte Golfstrom einen Bestandteil des Stromringes bildet. Ueber denselben sind neuerdings hochwichtige Studien von Pillsbury [104] und Lindenkohl [105] bekannt gemacht worden. Man hat an passenden Plätzen Schiffe im Strombereiche verankert, und die auf diesen vorgenommenen Beobachtungen ergaben neue und nützliche Anhaltspunkte. Es unterliegt jetzt keinem Zweifel mehr: Das als Golfstrom ausfliessende Wasser wird von der nördlichen Aequatorialströmung geliefert, welche durch die zahlreichen Einlasspforten der Antillenkette in die Karaibische See und aus dieser in den Mexikanischen Golf eindringt. Zwischen den Inseln St. Vincent und St. Lucia vollzieht sich die Einströmung am lebhaftesten. Im Mexikanischen Busen selbst sind meistenteils nur schwache und wenig regelmässige Strömungen nachzuweisen, welche in ihrer Stärke entschieden vom Mondstande abhängen; bei geringem Aequatorabstande des Mondes zieht sich der Strom zusammen, und mit zunehmender Deklination wird er grösser und breiter. Eine massige Strömung windet sich durch die Yukatan-Strasse, aber sie reicht nicht tief hinab, denn sie wird unmerklich, ehe man noch 400 m Tiefe erreicht hat. Im Verlaufe von 24 Stunden passieren angeblich etwa 2700 Kubikmeilen (1 Seemeile = 1855 m) Wasser die genannte Meerenge, und wenn diese Masse im Becken des Mexikanischen Meerbusens verbliebe, so würde dort in 24 Stunden eine Niveauerhöhung von nahezu 2 m eintreten. Thatsächlich erstreckt sich diese Niveauerhöhung nur auf den östlichen Theil des Meeresbeckens, und ihr entspricht ein energischer Austritt des aufgestauten Wassers aus der Florida-Strasse. Das Mississippi-Wasser besitzt von Hause aus' auch eine Tendenz, nach Osten abzufliessen, aber jene Staufläche vermag es nicht zu überwinden und wendet sich entschieden nach rechts, indem vielleicht auch noch die Achsendrehung der Erde (I, S. 241) jenem Impulse zu Hilfe kommt. Am Westeingange des Florida-Kanales entsteht jener mächtige Strom, den man früher, auch noch zu Franklins Zeiten, ganz allgemein nur als Floridastrom kannte, der aber heutzutage gewöhnlich gleich als Golfstrom schlechtweg angesprochen wird; strenge genommen galt ehemals diese Bezeichnung erst von einem Orte ab, der viel weiter nach Osten vorgeschoben war. Krümmel [106] und Supan [107] sind dafür eingetreten, dass die alte, erst durch Franklin beseitigte Namengebung wieder aufgenommen werde, was sich aber wohl nur schwer durchsetzen lassen wird. Die Geschwindigkeit der Floridaströmung ist anfänglich keine sehr grosse, wächst aber rasch; auch ist zuerst weder die Temperatur noch der Salzgehalt ungewöhnlich hoch. Die von NE kommenden kühleren Gewässer machen der Strömung den Sieg zuerst etwas schwer, aber bei Key West (S. 304) ist dieser schon entschieden, und auch bei Kap Florida nimmt der Strom schon fast die ganze Breite des Kanales ein und tritt sehr nahe an das Land heran. Doch wäre er allein schwerlich kräftig genug, um den Weg gegen E antreten zu können, aber er bezieht eine einflussreiche Verstärkung von der Westseite der Bahama-Bank her; die zuströmende Wassermasse, die Antillenströmung, ist ebenso warm wie salzreich. Weiter östlich kommt noch die östliche Passattrift hinzu, und nach

und nach partizipieren auch tiefere Schichten in den charakteristischen Eigenschaften der Strömung, indem das Wasser der Oberfläche infolge der ausgiebigen Verdunstung niedersinkt und höhere Temperatur nebst stärkerem Salzgehalte auf die tieferen Partien überträgt. Uebrigens ist neben der lunaren Einwirkung, welche sogar der täglichen Geschwindigkeit gegenüber sich bethätigt, auch der Luftdruck ein nicht zu vernachlässigender Faktor [108], und zwar ist seine direkte Wirkung ebenso, wie seine indirekte — durch das Medium der von den Druckverhältnissen abhängigen Winde — zu berücksichtigen. Es sind eben die Dinge gerade so gelagert, wie bei einem früher bereits betrachteten Falle. Wind, der auf die Stromachse senkrecht trifft, treibt das fliessende Wasser vorübergehend in seiner Richtung fort; die Golfkräuter sind schon bis zu 200 Seemeilen in NW und SE gefunden worden und bieten also kein verlässliches Mittel für den Nachweis des Stromes. Aber der blosse Luftdruck schon ist eine Ursache häufiger Stromveränderungen. Zumal in den Randzonen macht sich diese Veränderlichkeit geltend, denn es wird hier die Strömung eine um so stetigere, je höher das Barometer steht. Im Florida-Kanale ist die Analogie zwischen Meeres- und Binnenlandstrom die verhältnismässig schärfst ausgeprägte; es ist eine Achse, ein Stromstrich vorhanden, für deren sämtliche Punkte die Geschwindigkeit einen relativ grössten Wert annimmt, während gegen die Ränder hin eine Abnahme eintritt. Ein Mittelwert der achsialen Geschwindigkeit ist 134 km für den Tag, der Maximalwert 220 km; in vertikaler Richtung ist die Strömung mindestens noch bis zu 800 m Tiefe erkennbar.

Die Strömungsenergie des in den freien Ozean übertretenden Stromes ist somit eine ungemein grosse, und ein gleiches gilt für die Wärmevorräte, welche er von seiner tropischen Heimat mitbringt. Wenn es auch kaum möglich ist, dieselbe so genau zu schätzen, wie dies Croll in seinen schon oben citierten Studien über die Meeresströmungen versucht hat, so mag doch erwähnt werden, dass nach Petterson [109] die Wärmemenge, welche resp. vom August bis zum November und vom November bis Mitte Februar im Bereiche der Nordsee vom Wasser in die Luft übergehen, mit 150000 und 540000 Kalorien in Anschlag zu bringen sind; die Atmosphäre nimmt demzufolge so viel Wärme und gleichzeitig so viel Feuchtigkeit in sich auf, dass eine klimatische Rückwirkung unausbleiblich erscheint. Man ging früher wohl zu weit, wenn man das europäische Klima gewissermassen nur als eine Funktion des Golfstromes ansah [110], und die Einsprache Carpenters [111] war gewiss geeignet, Ueberschätzungen hintanzuhalten, aber aus den Untersuchungen Pettersons erhellt doch ganz gewiss, dass der Wärmeaustausch zwischen den vom Golfstrome beherrschten Meeren und der dieselben überlagernden Atmosphäre keine gleichgültige Sache ist. Das günstige Klima Grossbritanniens, Westgrönlands, Südislands, Norwegens und Spitzbergens ist teilweise eine Folge des Umstandes, dass diese Länder vom Golfstrome selbst oder von den Aesten desselben berührt werden (S. 311). Und auch darüber kann kein Zweifel obwalten (vgl. S. 331), dass namhafte Veränderungen in der Richtung und im Wärmetransporte des Golfstromes für das Gesamtklima unseres Erdteiles nicht bedeutungslos sein würden.

Wir verfolgen nunmehr den weiteren ozeanischen Weg der Floridaströmung. Zunächst bleibt sie nahe an der Küste, so dass ihren Rand etwa die Isobathe von 200 m bildet, aber jene kalten Strömungen, welche von N her am Ufer hinstreichen und (s. o.) schon früher vom Strome überwunden werden mussten, gewinnen gegen N an Kraft, und schon in der Breite von Kap Hatteras ist die Stromachse 38 Seemeilen vom Festlande entfernt. Dies ist durch die Forschungen von Pillsbury (s. o.), denen die Küstenvermessungskommission unter der Leitung von Hilgard, Hovel, Sigsbee und Bartlett vorgearbeitet hatte [112], ausser Zweifel gesetzt worden; nicht minder, dass von hier an der sich fächerförmig ausbreitende Strom, dessen Mittellinie die östliche Richtung einhält, in immer grössere Tiefen hinabgreift; „er verliert den Boden unter den Füssen", wie sich Hoffmann treffend ausdrückt [113]. Hohe Temperatur, tiefblaue Farbe (S. 495), namhafte Dichte zeichnen ihn ab von dem ruhenden Wasser in N und S; am letzteren Orte breitet sich innerhalb des grossen Wirbels, welchen Nordäquatorialstrom und Golfstrom bilden, die Sargassosee (S. 390) aus, für deren Erhaltung auf dem früheren Stande eben durch die von jenen Strömungen mitgeführten Landpflanzen gesorgt wird.

Weiter gegen E tritt eine durchgreifende Stromzerfaserung ein. Die Nordafrikanische Strömung biegt zuerst nach SE, später nach S um, und an der marokkanischen Küste fliesst sie sogar gegen SW, um später wieder mit

der nördlichen Aequatorialströmung zusammenzutreten und den Zirkulationsring des Nordatlantik zu vollenden. Diese Strömung war es, welche die Sendlinge des Prinzen Heinrich (des „Seefahrers") lange von der Umsegelung des Kaps Bojador abhielt, bis Gil Eannes 1434 das unmöglich Scheinende dadurch erreichte, dass er weit ins Meer hinaushielt und den Parallel des Kaps in einer Gegend kreuzte, in welcher die durch die Strömung verstärkte Küstenbrandung sich verloren hatte [114]. Aus höheren in niedrigere Breiten fliessend, wirkt diese Strömung abkühlend, und es wird diese Abkühlung deshalb noch mehr verspürt, weil ja auch (S. 492) gerade hier eine Stätte kraftvollen Auftriebes des polaren Bodenwassers liegt. So kommt es, dass über der in Rede stehenden Strömung Nebelbildungen häufig sind; es ist hier das Dunkelmeer der Alten zu suchen [115], über welches unheimliche Sagen im Schwange gingen.

Schon vor der Abschwenkung dieser selbständigen Strömung hatte der Strom mehrfach an seiner Südseite Ströme nach Südwest entsendet, welche oft bis zur Bermudas-Gruppe reichen, und durch diese Abgabe wird, wie auch durch anderweite Umstände, der Golfstrom so geschwächt, dass er östlich vom 40.° Meridian w. L. nach Schott [116] keine so hohe Bedeutung für die Navigation mehr hat, wie in seinem westlichen Teile. Immerhin verbleibt im übrigen den Stromteilungen, die etwa bei 20° w. L. ihren Anfang nehmen, ein stattliches Mass potentieller, in Wärmewirkung umzusetzender Energie. Früher nahm man an, dass ein noch recht kräftiger Strom, nach dem trefflichen Ozeanographen dieses Namens Rennellströmung zubenannt [117], tief in den Meerbusen von Biscaya eindringe und hierauf scharf nach N umbiege; ihm schrieb man die häufigen Schiffbrüche vor den Scilly-Inseln zu [118]. Diese Strömung gehörte lange zum eisernen Bestande aller Lehrbücher und Karten, während sie jetzt nur noch von der Geschichte der Erdkunde verzeichnet wird. Eine Rennellströmung gibt es in Wirklichkeit nicht. Was bereits von P. Hoffmann und Dinklage erkannt war, wurde durch neuere Beobachtungen als unbedingt richtig erwiesen [119]. Das Oberflächenwasser strömt dann, wenn der Wind längere Zeit gegen das Land weht, in die Bucht hinein, und zwar gilt dies vorwiegend für den Sommer, doch nimmt die Geschwindigkeit der Treibkörper ab, je mehr sich dieselben der spanischen Küste nähern. Auf der Dampferroute zwischen dem Kap Finistere und der bretagnischen Insel Ouessant ist eine regelmässige Strömung durchaus nicht zu finden, was schon mancher Schiffsführer, der sich auf dieselbe verlassen hatte, unangenehm empfinden musste [120]. Der südöstliche Zweig des Golfstromes entbehrt der Realität.

Dagegen ist die Mächtigkeit der Strömung, welche, an der Westküste Irlands vorüber, nach NE strebt, immer noch eine sehr respektable; westlich von den Hebriden ist, den von Petermann [121] verwerteten Messungen der „Porcupine" (S. 402) zufolge, noch in 1800 m Tiefe, in der Dänemark-Strasse wenigstens noch in 600 m Tiefe die Strömung spürbar. An der norwegischen Küste macht sich der Strom, wie wir erfuhren (S. 300) in pflanzen- und tiergeographischer Beziehung geltend. Die Strömung dringt auch noch weiter östlich vor und erreicht Novaja Semlja, wo er freilich schon ziemlich schwach geworden ist [122]. Wo freilich die an dieser Doppelinsel gelandeten Bimssteinstücke (I, S. 388), welche Bäckström untersuchte, eigentlich zu Hause sind, ist noch nicht ausgemacht [123]; man kann an die Azoren, man kann aber auch an die neuerdings entdeckte Ostströmung und an kamtschadalischen Ursprung (I, S. 407) denken; ersteres ist das Wahrscheinlichere, wenn man sich vergegenwärtigt [124], dass eine unter 56° n. Br. und 31° w. L. ausgesetzte Flasche, um das Nordkap herum, in den Varanger Fjord (bei Vardöe) einlief. Im Juli und August läuft, so berichtet Janko [125], längs der Murman-Küste (Halbinsel Kola) ein Oststrom hin, der in breitem Streifen Oberflächentemperaturen bis zu 12° aufweist und selbst beim Eintritte in den Matoschkin-Schar noch eine Wärme von 3° besitzt. Das ist ein Ausläufer des Golfstromes, der möglicherweise auch noch weiter gegen E vordringt. Wir hörten (S. 304), dass die alte Ansicht von der Herrschaft ewigen Eises in der Kara-See nicht aufrecht erhalten werden kann, und noch weiter östlich finden sich längs der sibirischen Nordküste ausgedehnte eisfreie Meeresräume, die Polynias, mit deren Eigenart uns v. Wrangell [126] bekannt gemacht hat. Sie sind nicht blosse „Waken" (s. u. in Kap. VI), sondern lassen nach v. Anjou deutlich die Gezeiten des freien Meeres wahrnehmen [127]; ob sie jedoch als Ergebnisse der eislösenden Wirkung eines Golfstromastes anzusehen sind, steht noch dahin. Wenigstens ist v. Nordenskiöld bei seiner Erörterung [128] der die „nordöstliche Durchfahrt" ermöglichenden Bedingungen mehr geneigt, den Eintritt der verhältnismässig wärmeren Süsswassermassen, welche

Ob und Jenissei entsenden, für das Offenhalten der Polynias verantwortlich zu machen.

Die Bespülung Spitzbergens durch den Golfstrom ist eine altbekannte Sache. Zuvor umgibt sein warmes Wasser einen grossen Teil der Insel Island, deren Mitteltemperatur dadurch, wenn die Schätzung Sartorius v. Waltershausens [129] zutreffend ist, um 4° erhöht wird. In den spitzbergischen Meeren ist der Strom durch seine „azurblaue" Farbe deutlich von dem grünlich schimmernden, stromlosen Polarmeere unterscheidbar [130]. Wo und wie er sich im Norden verliert, weiss man noch nicht mit voller Bestimmtheit zu sagen; indessen hat ihn Kükenthal [131] in der Hinlopen-Strasse angetroffen, welche Westspitzbergen von der Insel Nordland trennt. Bequemer war freilich die Findlay-Maurysche Theorie [132], welche das Golfstromwasser eine vollständige Umkreisung des Nordpols ausführen und durch die Baffins-Bay wieder herabströmen liess, allein zu den Thatsachen will sie durchaus nicht passen.

Im Gegenteile geht eine Zweigströmung von N nach S durch jene Bay, dieselbe, welche zuvor Grönlands Westküste bewohnbar gemacht hat. Es ist wahrscheinlich, dass dieser Zweig noch den 75. Parallel erreicht, aber im Smith-Sunde hat Bessels [133] vergeblich danach gesucht, obwohl er regelmässig Meerestemperaturen nahm.

Die Natur des Golfstromes ist uns nunmehr vollkommen bekannt. Rekapitulieren wir, so sind die gewonnenen Einsichten folgendermassen mit kurzen Worten zu skizzieren. Die grosse Meeresströmung setzt sich zusammen aus den warmen Gewässern, welche die nördliche Aequatorialströmung lieferte, und welche beim Durchpass durch die meist flachen westindischen Meere noch Wärme aufzuspeichern vermochten, und sodann aus der östlich von der Inselkette nördlich fliessenden Antillenströmung. Als Treffpunkt kann ungefähr die Mitte der Strecke zwischen Kap San Antonio und den Tortugas-Inseln, östlich des von Craven durch Lotung ermittelten Querriegels von Bimini, angenommen werden [134], so dass also hier der eigentliche Golfstrom beginnt. Den Atlantischen Ozean traversierend, entsendet derselbe eine südliche Zweigströmung zum Abschlusse des nordatlantischen Zirkulationssystemes, während er im Nordosten und Norden tief ins nördliche Eismeer eindringt, um sich allgemach in demselben zu verlieren. Seinen Weg muss er zum Teile sich im Kampfe mit widerstrebenden kalten Polarströmungen bahnen, welche von Norden her in den Atlantik eindringen. Diese haben wir nun noch zu studieren, um das Gesamtbild der atlantischen Meeresströmungen zu vollenden.

Der nordöstlichste Zweig des Golfstromes wird von einem kalten Strome auseinandergerissen, welcher ersterem bei der Bären-Insel (I, S. 399) begegnet. Die Nebel, welche dieses Eiland gewöhnlich einhüllen, werden durch den Konflikt beider Strömungen erzeugt [135]. Des ferneren ist die ostgrönländische Strömung zu vermerken, durch deren Eispackung der so drastische Gegensatz zwischen den beiden Küsten Grönlands bedingt erscheint. Hayes hat [136] unzweifelhaft darin recht, dass diese Strömung, um Kap Farewell herumschwenkend, auch noch den südlichsten Raum der Westküste umspült, aber seine weitere Behauptung, dass dieselbe in die aus der Baffins-Bay abtriftende Südströmung einmünde, ist falsch. Der westgrönländische Golfstromarm schiebt sich zwischen beide kalte Strömungen ein und verhindert deren unmittelbare Kommunikation.

Von den nordischen Strömungen ist der Labradorstrom der bekannteste, weil er die niedrigsten Polhöhen erreicht. Er entstammt der Baffins-Bay, fliesst an den Küsten von Labrador und Neu-Fundland in langsam zunehmender Verbreiterung hin und tritt gelegentlich zum Golfstrome in enge Beziehung. Man dachte früher, dass eine einfache Abdrängung der warmen durch die kalten Gewässer statthabe [137], wie dies namentlich Maury bestimmt aussprach. Es galt als feststehend, dass der schmale, kalte Küstenstrom zwischen dem Golfstrom und

dem Strande der Unionsstaaten Süd- und Nordcarolina wie ein Wall („Cold Wall") mit erkennbarem Niveauunterschiede emporrage [138]. Jedoch auch in diesem Falle musste man einsehen lernen, dass das Schematisieren kaum in irgend einem Zweige der Naturwissenschaften so schädlich wirkt, wie in der Lehre von den Meeresströmungen. Wir besitzen eine neuere Untersuchung über die kalten Strömungen an der Küste der Vereinigten Staaten, durch welche G. Schott [139] die Reformbedürftigkeit vieler bisher gehegter Anschauungen sehr bestimmt dargethan hat. Zuvörderst ist von einer völligen Identität zwischen dem wirklichen Polarstrome und dem kalten Küstenstrome keine Rede. Ersterer dringt als „arktischer Keil", beladen mit schwimmenden Eisbergen, tief in die beinahe entgegengesetzt gerichtete Warmwasserflut ein, zieht aber an der Oberfläche schliesslich den kürzeren und verchwindet anscheinend, indem er, unter die Gewässer des Golfstromes hinabtauchend, seinen Weg submarin fortsetzt. Jedenfalls ergiesst sich nur wenig vom Labradorstrome direkt über die flache Bank von Neu-Fundland hinweg in den Raum zwischen Golfstrom und Küste; die dieser letzteren sich anschmiegende Südströmung muss deshalb auf einen anderen Ursprungsort zurückzuführen sein. Als solchen bezeichnet Schott den St. Lorenz-Golf, indem er auf die niedrige Temperatur der Küstengewässer von Neu-Schottland u. s. w. hinweist. Zwischen dieser Halbinsel und dem Staate New York schläft die kalte Strömung fast vollständig ein; konträre Winde und Gezeitenströme sind im stande, ihre Existenz zu verschleiern. Weiter südlich ist dann wohl ein relativ kühler Südstrom unverkennbar, der aber wahrscheinlich nur ein Reaktionsstrom des Golfstromes ist. Nur zwischen 40° n. Br. und etwa der Grenze der Union gegen Kanada verdient der „kalte Wall" einigermassen den Ruf, der ihm viel zu umfassend beigelegt worden ist, und als Ursache dieser Aufstauung kalten Wassers muss man die aus dem Golfe von St. Lorenz hervorkommende Cabotströmung gelten lassen. Der von Dawson erstattete Bericht des kanadischen Flutüberwachungsdienstes bestätigt die von Schott mehr hypothetisch erschlossene Auswärtsströmung in der Cabot-Strasse, zu welcher sich noch eine zweite, zwischen Anticosti und der Halbinsel Gaspe verlaufende hinzugesellt [140]. Zweifellos hängen beide Strömungen mit dem Ausflusse des St. Lorenzo zusammen.

Auf die Umstände, unter welchen sich Golf- und Labradorströmung berühren, wird auch durch eine Studie von Libbey [141] einiges Licht geworfen. Aus den von ihm gezeichneten Wärmeprofilen lässt sich die Ueberlagerung des kühleren Nordwassers durch das darüber hinfliessende Golfstromwasser deutlich ersehen. Dieselbe hat aber keinen stabilen Charakter, sondern Jahr und Jahreszeit üben einen sehr bemerkbaren Einfluss aus, welchen man auch im Interesse der ungeheuer ausgedehnten Seefischerei zu erforschen verpflichtet ist, den die drei Staaten Union, England und Frankreich in jenen Regionen betreiben.

§. 5. **Die Strömungen der europäischen Nebenmeere.** Selbständige Zirkulationen kommen in Mittel- und Randmeeren nicht zu stande; wir haben ja oben (S. 377) sogar das Vorhandensein ersterer als ein Kriterium dafür hingestellt, dass ein Meer den Ozeanen zugerechnet werde. Meist sind die Strömungen der Nebenmeere nicht besonders stark, und durchweg machen sie den Eindruck von Ausgleichströmungen zwischen mehr und minder salzreichen Meeresteilen. Die Nordsee nimmt teil an den grossen atlantischen Strömungen; es verbleiben also für diesen Paragraphen wesentlich nur die Ostsee und das — freilich selbst kein einheitliches Strömungsbild darbietende — Mittelländische Meer.

a) Ostsee. Schon gegen Ende des XVIII. Jahrhunderts suchte Nordenankar [142] das damalige Wissen von den baltischen Strömungen einheitlich zusammenzufassen. Er ging, wie E. Suess [143] darlegt, von dem freilich unbewiesenen Grundsatze aus, dass der Spiegel der Nebenmeere durchweg höher als der Spiegel des zugehörigen Hauptmeeres liege, und dass damit ein Grund zu stetem Abfliessen gegeben sei: aus dem Mälar-See in die Ostsee, aus dieser durch Belte und Sund in Kattegat und Skager-Rak, und dann endlich in Nordsee und Atlantik. Die zahlreichen Flüsse sollten für die Kompensation und Niveauherstellung sorgen. Eine neuere Charakteristik der vielfach etwas unsicheren Strö-

mungen dieses Meeresbeckens hat man von Ackermann [144]. Der auslaufende Ostseestrom lässt sich bereits vom hohen Norden des Bottnischen Meerbusens aus verfolgen, und ihm entspricht der von aussen nach innen vordringende Nordseestrom. Beide Ströme passieren gleichzeitig die drei Zugangspforten des Baltischen Meeres, indem der Ostseestrom an der Oberfläche, der Nordseestrom in grösserer Tiefe verbleibt. Ersterer dürfte, wenn dies auch noch nicht im Detail klargestellt ist, in die Seitengewässer des Golfstromes an der norwegischen Küste aufgenommen werden; letzterer ist Ausläufer eines Golfstromastes, der von der Doggers-Bank (Nordsee) her sich um Jütland herumschlingt und im Kattegat [sich teilt. Ein Arm verschwindet, wie gesagt, unter dem Ostseestrome, und der andere biegt wieder nach W um, indem er sich mit der schottisch-englischen Küstenströmung vereinigt. Mit den ständigen Strömungen dürfen gewisse periodische „Oberflächenströmungen" nicht verwechselt werden, deren Krümmel [145] Erwähnung thut, und die in Wahrheit bloss ein Glied in der auch hier nachweisbaren Vertikalzirkulation (S. 490) bilden.

b) Mittelländisches Meer. Die grundlegende Schrift von W. H. Smith [146] über dieses Meer hat auch die Strömungsverhältnisse zuerst eingehender behandelt; einen kurzen Ueberblick gibt Krümmel [147], und den Fahrten der „Pola" (S. 402) danken wir hauptsächlich, was wir über den Austausch der Gewässer zwischen dem östlichen Mittelmeere und seinen nördlichen, hier besonders zu behandelnden Abzweigungen wissen [148]. Durch die Strasse von Gibraltar geht ein mächtiger Oberstrom ins Mittelmeer hinein, den der nie fehlende Weststrom in grösserer Tiefe kompensiert; ersterer zieht sich, stets rechts drängend, an der nordafrikanischen Küste hin, ist längs der Küste von Tripolitanien und der Cyrenaica noch erkennbar und wendet sich im äussersten einspringenden Meereswinkel nach N, indem er auch Cypern berührt. — Innerhalb der Adria ist ein Nordstrom an der dalmatinischen, ein Südstrom an der italienischen Küste den Schiffern altbekannt. Den Eintritt des ersteren ins Adriatische Meer haben Wolf und Luksch schärfer präzisiert [149]. Die allgemeine Oströmung des Hauptmeerbeckens setzt bei Corfu nördlich um, wird bei der Insel Fanò nach NW abgelenkt und zwängt sich nun durch das Wirrsal der dalmatinischen Inseln hindurch. Nur ein Theil ihrer Gewässer gelangt so weiter nördlich, während ein zweiter westlich abströmt und beim Vorsprunge des Monte Gargano die Verbindung mit dem von Istrien und Venedig herabfliessenden Zweigstrome herstellt.

c) Pontus und Archipelagus. Bei Kertsch strömt das Wasser des Asowschen Meeres so machtvoll nach dem Schwarzen Meere ab, dass v. Baer [150] von dieser Stelle die altgriechische Lehre vom „Strome" Okeanos herzuleiten geneigt war. Die griechischen Gelehrten kannten die Oertlichkeit auch recht gut, denn ganz treffend passt sich ihr die aristotelische Lehre an [151], dass Maeotis und Pontus, durch die Ablagerungen ihrer Zuflüsse immer grössere Raumbeengung erleidend, ihre Gewässer in kontinuierlichem Strome durch Bosporus und Hellespont nach dem Archipelagus senden müssten. Straton, Eratosthenes und vor allem Polybius [152] bildeten diese Doktrin weiter fort, indem sie dieselbe auch auf die Säulen des Herkules ausdehnten. Polybius kannte die starke Strömung des Bosporus, von welcher er ausdrücklich sagt, sie schlängle sich zwischen europäischem und asiatischem Gestade hin und her [153]. In seiner umfassenden Studie über dieses Kapitel der physischen Erdkunde stellt Wisotzki [154] den byzantinischen Geschichtschreiber Procopius als den ersten hin, welcher eine bis in Einzelheiten getreue Schilderung dieser Strömung lieferte [155], indem er namentlich auch die Kompensationsströmung aus der Propontis ins Schwarze Meer hervorhob. Erwähnung geschieht des Stromes der Strasse von Konstantinopel auch bei Gyll [156], Bótero [157] und fast allen späteren Geographen, aber man war, wie Wisotzkis Uebersicht [158] ergibt, um 1700 nicht eben weit über den Standpunkt der Antike hinaus, teilweise sogar rückwärts gekommen. Weiter führte erst (vgl. S. 376) des Grafen Marsigli Bosporus-Monographie [159], der (s. u. in §. 12) die Notwendigkeit zusammengehöriger Oberflächen- und Tiefenströme betonte. Von Neueren hat Moltke die Strömungsverhältnisse des Bosporus untersucht und deren Beziehungen zum Phänomene des „Kanonenfelsens" aufgedeckt [160], welches dem in Kap. IV, §. 9 erörterten Naturgesetze unterzuordnen ist. Im unteren Bosporus wird die Strömung stellenweise geradezu reissend, wie schon die Namen der beiden diesen Stromteil beiderseits abgrenzenden Uferpartien („Vorgebirge des Teufels" und „Vorgebirge der Strömung") bekunden [161]. Diese

Partie der Meerenge, um welche sich die Sage des Altertums mehrfach herumrankt, bevölkerte Schifferaberglaube mit den „schwimmenden Felsen“ (Symplegaden), die der Archäologe Wieseler [162] auf ihre geschichtliche Bedeutung geprüft hat. — Im Stromstriche der Dardanellen hat nach G. Schott [163] das zum Archipelagus abströmende Wasser eine mittlere Stundengeschwindigkeit von 9,25 km, und diese Strömung durchzieht, allen insularen Hindernissen zum Trotze, das ganze Aegäische Meer, noch bis über das Kap Malia hinaus nachweisbar bleibend. Im ganzen wohnt dem Archipelwasser die Tendenz inne, das Meeresbecken gegen den Drehsinn des Uhrzeigers zu umkreisen, so wie auch im Romanischen Mittelmeere (s. o.) ein Kreislauf erkennbar ist.

§. 6. **Die Strömungen des Grossen Ozeans.** Während im Atlantischen Ozean je eine autonome Zirkulation den Norden und Süden des ungeheuren Meresbeckens erfüllt, zeigt sich im Pazifischen Ozean zwar eine ausgesprochene Analogie in der Nordhälfte, aber im übrigen treten erkleckliche Abweichungen zu Tage. Sehr eigentümlich gestalten sich zumal die Strömungsverhältnisse in den äquatorialen Gegenden, und diese sollen uns denn auch zunächst beschäftigen, indem uns eine sehr gründliche Bearbeitung, welche Puls [164] dem reichhaltigen Materiale der Explorationsschiffe und Admiralitätskarten angedeihen liess, zur Richtschnur dient. Charakteristisch ist die von den Philippinen bis zur mittelamerikanischen Küste verfolgbare Grundanordnung: Eine nördliche und eine südliche Aequatorialströmung ziehen in westlicher Richtung über die weite Meeresfläche hin, auseinandergehalten durch eine gegen Osten verlaufende äquatoriale Gegenströmung.

Die grosse Weströmung ist so lange bekannt, als europäische Schiffe die Südsee durchqueren. Mit dem Gegenstrome, der ja auch ziemlich schmal ist, dauerte es länger, bis er erkannt und anerkannt ward. Man trachtete eben zumeist, von Amerika nach Asien oder Australien zu kommen, und überliess sich der günstigen Strömung, deren die Seefahrt befördernde Aktion schon vor zweihundert Jahren Luyts mit nachstehenden Worten pries [165]: „Nullibi vero motus generalis constantior est, quam in parte maris Pacifici inter tropicos, proinde mirum non accidit, naves, quae ex portu Acapulcensi novae Hispaniae quotannis insulas petunt Philippinas, immotis paene velis ad insulas Latronum appellere.“ Aeltere Schätzungen der Stromgeschwindigkeit, welche Wappäus [166], von Vancouver, Herbest, v. Krusenstern, La Pérouse anführt, stimmten wenigstens darin überein, dass dieselbe eine sehr beträchtliche sei. Die Gegenströmung wurde nach Puls [167] zuerst von Freycinet bemerkt, aber erst von dem deutschen Kapitän Harmsen der nautischen Welt bekannt gemacht; nach dessen Schiffe „Mentor“ hat man eine Mentorströmung in Aufnahme zu bringen gesucht, ohne dass jedoch dieser Name sich allgemeineren Eingang verschafft hätte. Kartographisch fixierte die drei äquatorialen Strömungen Duperrey [168]. Die beiden Ostströme lassen die Kalmenzone (S. 198) zwischen sich, und zwar ist der südliche Strom der nach Breite und Geschwindigkeit intensiver ausgebildete. Sein Nordrand, der etwa den Galápagos-Archipel mit der Nordküste von Neu-Guinea verbindet, ist durch das Maximum der Geschwindigkeit — bis zu 100 Seemeilen in 24 Stunden — ausgezeichnet, und weiter südlich, etwa in 5° s. Br., tritt ein zweiter Parallelstreifen von relativ sehr grosser Geschwindigkeit hervor. Diejenige des nördlichen Stromes ist bei weitem mässiger, auch mehr gleichmässig über die ganze Breite verteilt; der südliche Strom wird gegen W hin schwächer, der nördliche stärker. Was die Färbung anlangt, so ist sie mehr grünlich, zumal in E, weil dort die Strömung kühles Wasser aus der Tiefe emporreisst, während der Gegenstrom durchweg tiefblau ist. Es wäre falsch, die Aequatorialströmungen als rechtwinklig ausgebogene Fortsetzungen der meridionalen amerikanischen Küstenströmungen aufzufassen, welche viel zu schwach sind, um eine solche Bewegungsenergie liefern zu können. Ob in grösserer Tiefe der Gegenstrom das von der südlichen Weströmung entführte Küstenwasser ausgleicht, kann man nicht zuverlässig sagen; an der Oberfläche findet jedenfalls kein solcher Ersatz statt, da vielmehr der

Gegenstrom — auffälligerweise unter spitzem Winkel von der Küste Zentralamerikas abprallend — entschieden gegen NW abfliesst. Dies ist das Normalbild, welches Puls entwirft, und welches nur durch lange währendes Wehen widriger Winde getrübt werden kann [169]. Die Monsune bringen jedoch Störungen häufig zuwege, während sie hinwiederum es sind, welche während dreier Jahresviertel den Kampf des Gegenstromes mit der Opposition der Passatwinde unterstützen. Wie es sich aber auch damit verhalte, eine selbst nur temporäre Verschmelzung beider Aequatorialströmungen findet niemals statt.

Das südliche Pazifikbecken weist eine vom südlichen Aequatorialstrome genährte Wirbelbildung auf, in deren Innerem, ziemlich systematisch zum Wendekreise des Steinbockes, sich ein elliptisch geformter stromloser Meeresteil ausbreitet. Im Westen führt die Ostaustralische Strömung zum Antarktischen Meere, während um Neu-Seeland herum die Strömungsbewegung eine vorherrschend nördliche ist. Der Ostaustralische Strom lässt sich [170] am besten mit der Brasilienströmung vergleichen; er hat eine ziemlich bedeutende Wärme, die sich auch in die tieferen Schichten hinab fortpflanzt. Die Strömungen zwischen Tasmanien und Neu-Seeland werden als sehr kompliziert geschildert; thatsächlich, so interpretiert Krümmel [171] die Berichte, biegt der Ostaustralische Strom bei Kap Hoorn nach E um und begleitet einen von Vandiemensland her kommenden, dem Indischen Ozean entstammenden Strom auf dessen linker Seite. Pflanzengeographische Argumente [172], so die Verwandtschaft der Flora Neu-Seelands mit jener von Warekauri und Kermadec, sprechen nicht minder für das Vorhandensein einer an der Ostseite der Doppelinsel nach NE streichenden Strömung.

Nahezu die ganze Westküste Südamerikas wird von der Peruströmung begleitet; man nennt sie wohl auch Humboldtströmung, obwohl Humboldt selbst sich gegen diese Namengebung verwahrte, weil er ja nur etwas beschrieben habe, was in allen alten Lotsenbüchern stand [173]. Gerade auf diesen Fall nahmen wir oben (S. 495) Bezug, als wir gegen die grundsätzliche Zusammenwerfung kalter und polarer Strömungen Protest einlegten; denn kalt ist der Peruanische Strom, verglichen mit dem normalen Temperaturstande der Küstenländer, ganz gewiss, aber er kommt keineswegs aus dem antarktischen Süden, sondern ist das östliche Glied des grossen südpazifischen Stromkreises. Durch kritische Vergleichung der Nachrichten eines Duperrey, Findlay, Kerhallet, Maury u. s. w. konnte Hettner [174] die Natur des Küstenstromes genauer ermitteln. Er bewies, dass die Kontinuität des Stromes, wenn wechselnde Windrichtungen ihn kreuzen, eine sehr unvollständige ist [175]. Früher schon (S. 314) wurde die einzige echte Wüstenbildung Südamerikas (Atacama) mit dem hier besonders nahe ans Land herantretenden Perustrom in Verbindung gebracht. Im chilenischen Stromgebiete liess die Regierung jüngst Temperaturmessungen vornehmen, über welche Plate berichtet hat [176]. Danach ist der Strom etwa 100 Seemeilen breit, und neben ihm läuft aussen ein schwächerer Südstrom her, der zu mancherlei unerwarteten Stromversetzungen (S. 496) Anlass bietet. Seiner Entstehung nach ist dieser Kompensationsstrom, welcher zwischen 5° und 10° s. Br. sich bilden dürfte, namhaft wärmer, als sein Gefährte, und an ihm liegt es gewiss auch, dass das Eiland Mas-a-tierra eine weit tropischere, mehr an Peru gemahnende Flora aufweist, als man dies seiner Polhöhe nach erwarten sollte. Bei Kap Blanco biegt die Peruströmung westlich ab, um, nach den Beobachtungen von Th. Wolf [177], mit dem Hauptarme in den Südäquatorialstrom einzulenken. Vereinigungsort ist der Galápagos-Archipel, und nur ein schwacher Ast reicht nördlich bis zur Landenge von Darien. Zweifellos zum Ausgleiche fliesst an der Küste von Ecuador ein Strom nach S, der in der Regel wenig Wasser fortführt und deshalb nach Pezet [178] von den Neuspaniern El Nino („Der Kleine") benannt wird. Wird er ausnahmsweise einmal stärker, wie z. B. im Sommer 1891, so bewirkt er, dass in sonst regenarmen Küstenbezirken ergiebige Niederschläge fallen. — Die Verbindung zwischen Pacifischem und Atlantischem Ozean besorgt der Kap-Hoornstrom [179], welcher sich um das Feuerland südlich herumschlingt und sodann, wie feuerländi-

sches Treibholz an den Küsten der Falklands-Inseln beweist, mit nach und nach nordöstlicher Schwenkung zum Falklandstrome (S. 500) hinüberlenkt.

Wir wenden uns jetzt dem Stromringe im Nordpazifik zu. Die uns bekannte nördliche Aequatorialströmung biegt, etwa östlich von Mindanao, nördlich um und wird dann, teils durch Küstenverlauf und Erdumdrehung, teils durch kühle, nördliche Küstenströme, zu abermaligem Umbiegen gegen NE genötigt. Stark und regelmässig läuft sie an der Ostküste von Formosa entlang [180] und sendet warmes Wasser bis tief in die Chinesische See und gegen die koreanische Westküste vor, ohne dass es doch, angesichts des hier herrschenden Monsunwechsels (S. 309) zur Bildung der hier und da wirklich verzeichneten, regelmässigen Chinesischen Strömung kommen könnte [181]. Die Hauptströmung dringt zwischen den Liukiu- und Bonin-Inseln an die Küste von Nippon vor und wird hier zu der viel besprochenen Japanischen Strömung, die auch Kuro-Siwo (richtiger Kuróschio = blaues Salz) genannt wird, weil die tiefblaue Farbe diesen Strom ebenso, wie den Golfstrom, vom übrigen Meere sich abheben lässt [182]. Auch östlich von der Bonin-Gruppe geht ein starker Strom, die Boninströmung, nach N zur Verstärkung des Kuróschio; ein regelrechtes Seitenstück der Antillenströmung (S. 500). Von Europäern dürfte, nach Wappäus [183], der grosse Japankenner Engelbert Kämpfer zuerst auf diese Strömung, als Verursacherin zahlreicher Schiffbrüche, die Aufmerksamkeit der Geographen gelenkt haben [184]. Der Strom geht mit seinem Stromstriche durch die Enge zwischen den Inseln Ohosima und Kiusiu hindurch und breitet sich sodann, wenn er etwa die Breite von Tokio erreicht hat, fächerartig aus, indem ein südlicher Arm, die Tessanströmung, wieder der Vereinigung mit der nördlichen Aequatorialströmung entgegenstrebt [185]; sie führt ihren Namen nach dem französischen Nautiker De Tessan, der im Jahre 1837 Forschungen über die Japanströmung und ihre Umgebung angestellt hat. — Jedermann springt die grosse Aehnlichkeit zwischen Golfstrom (korrekter Floridastrom) und Kuróschio ins Auge; J. Wild [186] hebt dieses Moment besonders nachdrücklich hervor. Die neueste Untersuchung über Morphologie und klimatische Bedeutung der Japanischen Strömung ist diejenige von G. Schott [187]. Aus seinen, gleichmässig auf thermometrische Messungen und Nachrichten über Stromversetzung sich gründenden Untersuchungen folgt, dass die Breite der Strömung eine sehr veränderliche ist und von der Jahreszeit abhängt. Auch die Geschwindigkeit ist, wie J. J. Mahlmann in einer japanischen Zeitung auseinandersetzte [188], keine konstante, sondern gleichfalls eine durch die Monsune bedingte; auch sind die zwischen nordwestlichem Stromrande und Küste sehr lebhaften Gezeitenströmungen (S. 480) zu berücksichtigen. Immerhin kann das Wechselspiel der Monsune nicht, wie sonst, die Herausbildung eines perennierenden Stromes verhindern; P. Hoffmann (a. a. O.) betont, dass der NE-Monsun die nördliche Aequatorialströmung begünstigt, welche doch die Mutter des Kuróschio ist, und dass, wenn diese Hilfsquelle zur Zeit des SW-Monsuns zu fliessen aufhört, dafür eine charakteristische Monsunströmung verstärkend aus der China-See vordringt. — Die Ansicht, dass das relativ milde Klima Japans in erster Linie ein Tribut der Japanischen Strömung sei, bezeichnet Schott (s. o.) als unhaltbar; sei doch von beiden Längsseiten der Hauptinsel Nippon die westliche entschieden die thermisch begünstigtere. Weit eher könne man zugeben, dass — wiederum ganz nach Analogie der Golfstromwirkung — Nordamerikas Westküste Vorteil von der Wärmeenergie des blauen Salzwasserstromes ziehen müsse. So sagt denn auch Hirschberg [189] von der Nordwestecke der Vereinigten Staaten: „Der Winter ist hier ein milder, da der Kuro-Siwo oder Japanische Strom seine warmen Wellen an die Küsten von Washington und Britisch-Columbia sendet.“

Nur kurz sollen die in ihren Besonderheiten noch nicht ausreichend erforschten Strömungen am nördlichsten Teile des Stillen Ozeans besprochen werden. Dalls Aufnahmen, auf dem Vermessungsschiffe „Yukon“ durchgeführt [190], gewähren noch immer den besten Anhalt. Der Kuróschio läuft gegen E in die sogenannte Westwindtrift aus, welche bei der Annäherung an die nordamerikanische Westküste einer Stromteilung unterliegt [191]; der stärkere Arm zieht südlich, der schwächere nördlich ab; obwohl ohne grosse Mächtigkeit und Geschwindigkeit, auch durch Gezeitenströme beeinträchtigt, besitzt er doch noch thermische Energie genug, um den Alaska-Golf einigermassen zu durchwärmen und der Südküste der gleichnamigen Halbinsel die oben (S. 304) berührte klimatische Ausnahmestellung zu gewährleisten. Die Beringströmung entspringt nicht im Nördlichen Eismeere [192], sondern entspricht eben jenem Nordstrome, der ein Ausläufer der

Kuróschiotrift ist; indessen vollzieht sich die Bewegung so langsam und wird durch so viele nebensächliche Faktoren beeinflusst, dass vielleicht gar nicht von einer Strömung im üblichen Sinne gesprochen werden darf. So ist auch ein eigentlicher Kamtschatkastrom nicht sichergestellt, obwohl v. Schrenk [193] eine generelle Oberflächenbewegung nach S bis etwa zum 80. Grade n. Br. gegeben erachtet. Dieser ist auch der Kurilenstrom, der wesentlich nach SW geht, zuzurechnen. Die Japanische Inland-See wird nach demselben Autor im Westen von südlich gerichteten Strömungen, im Osten dagegen von der weit klarer ausgesprochenen Tushimaströmung durchfurcht, welche auch noch die Südwestseite der Insel Sachalin benetzt und das Ihrige zu der starken Erwärmung des japanischen Westens (s. o.) beiträgt. Aehnlich gestaltet sich [194] das Strömungsbild im Ostchinesischen Meere.

Zum Studium der Strömungsverhältnisse in den hinterindischen Zwischenmeeren (S. 378) hat Blink [195] einen wertvollen Beitrag geliefert. Zwischen Luft- und Meeresströmungen besteht ein unzweideutiger Parallelismus [196], und da erstere wesentlich den Monsuntypus tragen, da ferner auch wechselndes Bodenrelief, starke Inseldurchsetzung und verwickelte Gezeitenphänomene (S. 480) mitwirken, so kommt es nur ausnahmsweise zur richtigen Strombildung. Da z. B., wo der stabilere Passat den kürzer dauernden Monsun überwiegt, wie in der Bali-Strasse [197], kombiniert sich die anemische Strömungsbewegung mit den Tiden zu einem Strome, der wenigstens einen grossen Teil des Jahres hindurch „ruhig und regelmässig, wie ein Fluss“ sich darstellt.

§. 7. **Die Strömungen des Indischen Ozeans.** Was soeben über die Meere Insulindes, des niederländischen Kolonialgebietes in Ostasien, ausgesagt wurde, gilt auch noch für den nördlichen Teil des Indischen Ozeans. Hier herrscht (S. 200) alternierend der südwestliche und nordöstliche Halbjahrwind, und damit weiss man zugleich auch, dass konstante, stets in gleicher Richtung fliessende Meeresströmungen nicht zu stande kommen können [198]. Erst im Südwesten und Süden des Ozeans tritt diese Möglichkeit ein, die denn auch nicht ungenützt bleibt.

Die Abbildung in Fig. 101 bezieht sich, soweit der nordhemisphärische Ozean in Betracht kommt, ausschliesslich auf die Wintermonate; für den Sommer wäre den Pfeilen die entgegengesetzte Richtung zu erteilen. Nicht überall vollzieht sich jedoch die Umkehr in streng regelmässiger Weise, und so sind die Strömungen oft sehr wechselvoll, zumal in der Andamanischen See und im Meerbusen von Bengalen. Die ungeheure Barre, welche letzteren grossenteils erfüllt, ist auf den Konflikt zurückzuführen [199], in welchen die zumeist nordwärts gerichtete Strömung mit den an Sinkstoffen überaus reichen Wassermassen der Riesenflüsse Ganges und Brahmaputra geraten.

Im südhemisphärischen Indischen Ozean zieht sich gegen W die breite Aequatorialströmung hin, welche in den beiden anderen Ozeanen ihr Analogon findet; auch sie zerfällt in ein nördliches und südliches Band, geschieden durch die nach E strebende aequatoriale Gegenströmung. Von der südlichen Hauptströmung zweigt im äussersten Westen die Madagaskarströmung, von der nördlichen ebenso eine zunächst schwächere Küstenströmung ab, welche jedoch gegen S stetig an Intensität zunimmt und mit grosser Geschwindigkeit, als Moçambiqueströmung, die Meeresstrasse zwischen Madagaskar und Ostafrika durcheilt. Direkte Fortsetzung der letzteren, wennschon auch durch die westlich fliessenden Gewässer der Madagaskarströmung etwas verstärkt, ist die Agulahas- oder Kapströmung, so genannt, weil die Südspitze Afrikas den Namen Kap Agulhas (Nadelkap) führt. „Ohne Frage,“ bemerkt Krümmel [200], „ist dieselbe eine der interessantesten aller Stromerscheinungen.“ Dass mit ihr schon Vasco da Gama unliebsamste Bekanntschaft machen musste, haben wir (S. 494) erfahren; späterhin eröffnete mit ihrer kartographischen Darstellung Rennell [201] seine gediegene ozeanographische Wirksamkeit. Etwas später erstaunte v. Krusenstern über die Rapidität der Strömung, welche nach seiner Messung [202] in 24 Stunden nicht weniger als 67 Seemeilen zurücklegte; thatsächlich erreicht sie mitunter einen Betrag von 110 Seemeilen. Gestützt auf Angaben von Andrau und Toynbee [203],

schildert Krümmel (s. o.) den Verlauf des Stromes, welcher der gleichnamigen Bank an deren Südrande folgt und dann in scharfem Stromknie in das Atlantische Meer vorspringt, um freilich, weil er bald einer kalten Nordströmung begegnet, rasch wieder zum heimatlichen Ozean zurückzukehren. Es ist dies der einzige Fall, in welchem eine Meeresströmung in einen anderen Ozean übergreift. Man darf sich übrigens die Wendung nicht so denken, dass kalte und warme Strömung mit klar markierter Grenzfläche nebeneinander hergingen, sondern es ergibt sich eine Zersplitterung des Kapstromes, der in seiner Richtung gegen E schwächer als zuvor geworden ist. Inwieweit seine Ueberreste sich mit der Kerguelenströmung vereinigen, welche südlich des Wendekreises von der Südäquatorialströmung abzweigt, bleibt noch zu untersuchen. Oestlich von dieser Trennungsstelle geht zwischen 35° und 40° s. Br. eine Westwindtrift durch den Indischen Ozean hindurch, deren Weg hauptsächlich durch Neumayers Flaschenposten sichergestellt ist [204]. Unweit Kap Leeuwin tritt eine Stromgabelung ein [205]; der Nordarm liefert das Material zur Westaustralischen Strömung, und der stärkere, nach E setzende Arm umläuft — wie, ist noch nicht ganz aufgeklärt — den Süden Neuhollands, um sich irgendwie mit dem pazifischen Strömungssysteme, vorab mit der ostaustralischen Strömung (S. 507), zu verbinden.

Für den Persischen Meerbusen ist ein gewisser Einblick in die physikalischen Verhältnisse erst durch Genthes Untersuchungen [206] ermöglicht worden; es gibt hier wesentlich, wie in der Arabischen See, nur Wechselströme als direkte hydrosphärische Abspiegelung der Monsunwinde, ganz den älteren Annahmen entsprechend [207]. Im Golf von Aden macht sich, neben diesen jahreszeitlichen Strömungen, doch auch ein gewisses Einströmen von Gewässern des indischen Nordäquatorialstromes bemerkbar [208]. Das Rote Meer ist von den englischen Nautikern schon frühzeitig studiert worden; aus der Verarbeitung der bis zum Beginne der siebziger Jahre ermittelten Materialien durch Kropp [209] erhellt, dass auch in diesem Nebenmeere die Oberflächenströmungen den Winden folgen, dass aber längs der arabischen Seite nördliche, längs der afrikanischen südliche Bewegungen vorherrschen. Im Norden treten, wie Krümmel [210] nach Hood mitteilt, die Windströmungen ganz gegenüber den Gezeitenströmungen zurück.

Die Verbindung des Roten Meeres mit dem Mittelmeere durch den Kanal von Suez hat einer interessanten Forschungsreihe den Untergrund bereitet. Entstehen in einer solchen künstlichen Meeresstrasse Strömungen, und welchen Charakter haben dieselben? Darauf hat bisher eine freilich nur sehr bedingte Antwort gegeben werden können, denn der Kanal ist nicht etwa, wie dieses Wort andeuten könnte, eine einheitliche Wasserrinne, sondern da er durch eine Reihe von Süss- und Bitterseen unterbrochen ist, so trägt seine nördliche Abteilung an sich schon mehr ein mediterranes, die südliche mehr ein erythräisches Gepräge. An direkten Beobachtungen mangelt es noch sehr, und wir müssen deshalb einstweilen bei den Zoogeographen Anleihen machen, denn aus den Resultaten der Studien über Tierwanderung kann man Rückschlüsse auf die im Kanale kursierenden Strömungen ziehen.

Durch C. Keller, Kobelt, Klunzinger, Gottsche, v. Martens u. a. ist viel Thatsächliches eruiert worden. „Keller," sagt Walther [211], „hat die Wanderung der erythräischen und der mediterranen Tierwelt durch den Suezkanal zum Gegenstande sorgfältiger Untersuchungen gemacht. Da in der Mitte des Kanales die Verdunstung sehr gross ist, so strömen von Norden und von Süden stets neue Wasser in den Kanal ein und begünstigen das Wandern der Tierwelt. Vier Mollusken des Mittelmeeres sind bis Suez vorgedrungen, dagegen sind fünfzehn Molluskenarten des Roten Meeres nach dem Mittelmeere gelangt, und wahrscheinlich wird die Vermischung der beiderseitigen Faunen im Laufe der Jahre immer weiter gehen." Betreffs der Fische ist nach Kobelt [212] das Verhältnis ein umgekehrtes, allein diese mit freiester Ortsbeweglichkeit begabten Tiere können deshalb auch nicht wohl als Indikatoren strömender Bewegungen dienen, wie man

sich denn überhaupt immer gegenwärtig zu halten hat, dass gar viele immobile Lebewesen auch auf andere Weise, durch Anheften an Schiffe u. dgl., fortgeschafft werden können. C. Keller, aus dessen Mitteilungen [213] Ruhle einen Auszug [214] gegeben hat, erklärt die grosse Langsamkeit der Transferierungen durch die schlammige Beschaffenheit des Grundes, zumal in den Seen, durch den darin herrschenden Vegetations- und Nahrungsmangel und eben durch das Vorhandensein der Seen selbst, indem jede einwandernde Tierkarawane sich im See erst fächerförmig ausbreitet, ehe eine Fortschiebung eingeleitet wird. Die Windströmungen wirken zum Teile hemmend, zum Teile fördernd; nur im ersteren Sinne aber wirkt die von den Meeresküsten an rasch fortschreitende Abnahme des Salzgehaltes. Im ganzen treibt die Strömung im Kanale mehr nördlich. Daran tragen gewiss, wie Lemasson hervorhebt [215], die weit regelmässigeren Südwinde die Hauptschuld. Wäre nämlich der Dichteausgleich massgebend, so müsste ein Oberstrom vom Mittelländischen Meere her einem in dieses gehenden Unterstrome entsprechen, weil dasselbe an Salzreichtum dem Roten Meere nachsteht. Im Golfe von Suez ist nach Luksch [216] der Salzgehalt ein ganz unerwartet hoher; es ist dort S (17,5 : 17,5) = 1,03263 (S. 430), was 4,27 % Salz ergibt; wenn also die Verschiedenheit der Dichte beider Meere einen Stromzyklus auslöst, so kann es nur der eben erwähnte sein. Indessen ist doch die Differenz (vgl. S. 431) keine so erhebliche, dass eine lebhaftere Strömungsbewegung trotz so mancher Hindernisse sich einleiten könnte. — Gewiss wäre die Sache wichtig genug, um die Anstellung selbständiger Beobachtungen und Messungen zu verdienen. Wäre der Panamá-Kanal zur Thatsache geworden, so würde er uns noch wichtigere Aufschlüsse geben können, wogegen der von der Union entschieden begünstigte Nicaragua-Kanal hiefür weniger leisten dürfte. Die Betrachtung der von E. Bötticher [217] gekennzeichneten Linie zeigt, dass ein sehr grosser Binnensee und ein natürlicher Fluss Teile dieser Meeresverbindung sein werden, und da kann sich offenbar noch viel weniger als beim Suez-Kanale ein — horizontales oder vertikales — Zirkulationssystem herausbilden.

§. 8. **Arktische und antarktische Strömungen.** Einzelner Strömungen, die sich im Nördlichen Eismeere finden, musste schon in den vorigen Paragraphen Erwähnung gethan werden, insofern gewisse andere ozeanische Strömungen entweder von dort stammen oder, wie ein paar Zweige des Golfstromes, in der arktischen Region verlaufen. Erst in neuester Zeit trat eine ausschliesslich nordpolare Strömung in den Vordergrund des wissenschaftlichen Interesses.

Die nordöstliche Verzweigung des Golfstromes ist in §. 4 ausführlich geschildert worden. Man hat besondere Strömungen, den Nordkapstrom, den Kaninstrom u. s. w. unterscheiden wollen, indessen stehen dieselben zweifellos mit dem Golfstrome selbst in nächster ursächlicher Beziehung. Wir verweisen bezüglich derselben, neben den schon an genanntem Orte citierten Arbeiten, noch auf diejenigen von Grigorjew [218] und v. Middendorff [219]. Ueber die Strömungen im Bereiche der Nordwestlichen Durchfahrt wissen wir wenig Bescheid; für das Gebiet nördlich der Bering-Strasse konstruierte v. Nordenskiöld [220] hypothetisch ein Schema, das sich vermutlich der Natur recht genau anpasst. „Die Strömungen in dem Meere oder dem grossen Meerbusen, der von Wrangelland, der Nordostküste Asiens und der Nordwestküste Amerikas gebildet wird, sind wahrscheinlich denen im Grönländischen und Karischen Meere ähnlich. An allen diesen Stellen geht ein südlicher, warmer Strom an der Küste des östlichen Landes entlang; in dem Meere, um das es sich hier handelt, von der Bering-Strasse bis zum Kap Barrow. Ganz sicher wird dieser südliche Strom nördlich von der Bering-Strasse, ebenso wie im Grönländischen und Karischen Meere, von einem kalten Wasserstrome aufgewogen, der etwas westlich vom Kap Barrow erst nach Süd und dann nach Südwest fliesst."

Ein solcher Strom mit westlicher Tendenz ist nun wirklich vorhanden, und zwar durchfliesst er einen ungeheuren Meeresraum. Als F. Nansen im Spätherbst 1864 erfuhr [221], dass Gegenstände, welche nachweislich der im Juni 1881 vor der Lena-Mündung gesunkenen „Jeannette" (vgl. S. 402) angehört hatten, an der Südwestküste Grönlands angetrieben seien, stand bei ihm fest: Im höchsten Norden muss eine Westtrift von den Neusibirischen Inseln bis

hin zur Ostgrönlandströmung führen. Man weiss, dass damit der Plan zu der grossartigen Reise der „Fram" gefasst war, durch welche eine kühne Mutmassung die vollgültigste Rechtfertigung fand. Das Expeditionsschiff fuhr immer an der sibirischen Küste hin, und mit Bangigkeit wartete der Führer, ob sich ein Zeichen der ersehnten Trift blicken lasse. Zuerst war dies der Fall [222] am 21. Februar 1894, aber noch dauerte die Ungewissheit längere Zeit an, und erst Ende September, nachdem das Schiff wieder vom Eise besetzt war, konnte das Vorhandensein der Trift aus astronomischen Beobachtungen erschlossen werden. Sie war [223] weit nördlicher, als diejenige der „Jeannette", gehörte aber doch dem nämlichen Strömungssysteme an. Man weiss, dass das Endresultat die Voraussetzungen bekräftigte; am 14. August 1896 kam die — nunmehr von Sverdrup allein befehligte — „Fram" in Sicht der Küste von Spitzbergen [224]. Eine sehr breite Triftströmung ist also nachgewiesen, welche über die Zirkumpolarregion hinweg die Meere der westlichen Halbkugel mit denen der östlichen verbindet. Das Schiff Nansens war wahrscheinlich nahe der Achse der Trift eingefroren, und es erscheint keineswegs undenkbar, dass man über den Pol selbst weggeführt worden wäre, wenn es gelang, schon vor Eintritt strengster Kälte eine noch höhere Breite, näher am jenseitigen Rande der Strömung, zu gewinnen.

Die eigenartige, zirkumpolare Lage der Festlandfragmente und Archipele, welche wir einstweilen als Antarktis bezeichnen, übt einen wesentlichen Einfluss aus auf die südlichen Meeresströmungen. Das Bild wird ungleich einfacher, als es in dem zerlappten, mit grossen Kontinentalmassen über den nördlichen Polarkreis hinausreichenden Norden sich darstellt. Rund um die Erde, nur einmal vom Kerguelenstrome unterbrochen, umschlingt den Erdball, zumeist zwischen 40° und 65° s. Br. verlaufend, eine Osttrift als unmittelbare Folge der herrschenden Luftdruck- und Windverteilung. Dieselbe hat mit vollem Bewusstsein erst Krümmel in die seinem Werke beigefügte Strömungskarte aufgenommen; er nennt sie „Westwindtrift" und betrachtet die gleichsinnige Kap-Hoornströmung als eine schärfer markierte Randströmung der ersteren [225]. Wie es südlich derselben bestellt ist, entzieht sich noch fast gänzlich unserer Kenntnisnahme.

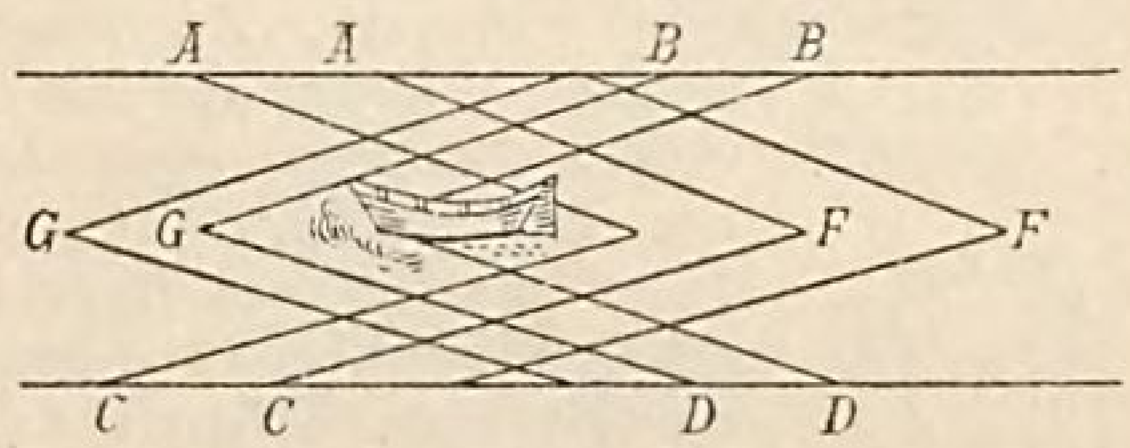
Diese Trift scheint sich da und dort in hohe südliche Breiten auszudehnen. So konstatiert Fricker [226] noch in der Nachbarschaft von Grahams-Land kräftige, rasch nach E setzende Ströme, die also wohl dem gleichen Entstehungsgesetze gehorchen. Daneben herrscht natürlich auch noch allenthalben eine meridionale Nordströmung, ohne welche ja das Treibeis unmöglich in vergleichsweise niedrige Breiten hinabgeflösst werden könnte. Von 1896 an sind massige Eisberge sogar nördlich von Kerguelen-Land gesehen worden [227]. Im allgemeinen wird sonach die Westwindtrift nicht eine rein östliche, sondern mehr eine nordöstliche Richtung einhalten.

§. 9. **Theorien über die Entstehung der Meeresströmungen.** Nachdem wir die geographische Verteilung der Meeresströmungen kennen gelernt haben, tritt die Notwendigkeit an uns heran, über die Ursachen der grossartigen Erscheinung uns ein Urteil zu bilden. Prinzipiell handeln wir zunächst nur von den Strömungen der freien Meere, indem wir diejenigen in Meerengen, deren physikalischer Typus ein wesentlich abweichender ist, besonderer Betrachtung (in §. 12) vorbehalten. Schon frühzeitig hat das menschliche Kausalitätsbewusstsein sich dieses anregenden Stoffes bemächtigt, und die Anzahl der zu erörternden Hypothesen ist eine ziemlich grosse; eine ältere Abhandlung von Jungk [228] und eine neuere von Pahde [229],

welch letztere namentlich durch grosse Vollständigkeit sich auszeichnet, gewähren eine gute Uebersicht, welche auch der vorliegenden geschichtlich-kritischen Durchmusterung des Stoffes sehr zu statten gekommen ist.

Allerdings stossen wir gar manchmal auch auf einschlägige Schriftwerke, welche sich rein deskriptiv verhalten und auf eine Erklärung überhaupt verzichten; selbst Fourniers Handbuch liefert in dem Abschnitte [230]: „Des courants qui se trouvent en divers lieux de la mer" nur eine dem Zwecke der Segelanweisung dienende Charakteristik, ohne sich über den Grund der Sache zu verbreiten. Es scheint, dass Lionardo da Vinci, auf so vielen Arbeitsfeldern des Geistes der erste Pionier (vgl. S. 439), auch die erste zutreffende Vorstellung vom Wesen einer Meeresströmung besass [231], indem er ein Aufsteigen der äquatorialen Gewässer unter dem Einfluss der Tropenhitze und deren Ersetzung durch zuströmendes Polarwasser postulierte. Kepler sprach sich in der „Epitome astronomiae Copernicanae" dahin aus [232], dass die grossen äquatorialen Strömungen — die einzigen, von denen ihm Kenntnis geworden war — eine Begleiterscheinung der Erdrotation seien; er übersah, was nicht verwundern kann, dass durch letztere Bewegung eine Oberflächenbewegung zwar alteriert, nicht aber ausgelöst werden kann (I, S. 249). Uebrigens war Kepler auch bezüglich der Verschiedenheit von Gezeiten- und Strömungsbewegung noch keineswegs zur vollen Klarheit gelangt [233]. Unbedingt am höchsten ist von den ins XVII. Jahrhundert gehörigen Erörterungen des Strömungsproblemes diejenige von J. Vossius [234] zu stellen, dessen Büchlein, wie Wisotzki meint [235], „wegen so mancher ozeanographischer und klimatologischer Erkenntnisse einer grösseren Beachtung wohl wert wäre, als sie ihm zu Teil wird"; selbst Varenius steht in dieser Frage einigermassen zurück [236], obwohl einzelne Geistesblitze nicht fehlen. Auch für Vossius ist die kalorische Wirkung der Sonnenstrahlen die Grundlage seiner Theorie, welche er an der in Fig. 102 wiedergegebenen Zeichnung erläutert. AB und CD sind die parallelen Ufer eines Kanales, in dessen Achse ein Kahn von F nach G fortgeführt wird. Der Kahn verdrängt Wasser, und dieses staut sich zu seinen beiden Seiten auf, so dass von G gegen F eine langsame Niveausenkung eintreten muss. Dieselbe wird dadurch gehoben, dass von A und C die Gewässer nach der Einsenkung bei F hinfliessen. Statt der Wasserverdrängung des Fahrzeuges ist in den Meeren der warmen Erdgegenden die Sonnenhitze das hebende Moment; die Furche, welche der täglichen Sonnenbahn entspricht, veranlasst zu beiden Seiten Senkungen, und diese müssen durch zuströmendes Wasser wieder ausgeglichen werden. So werden denn sämtliche Strömungen, was freilich mit der Wirklichkeit nicht in Einklang zu bringen gewesen wäre, als thermische Kompensationsströmungen aufgefasst.

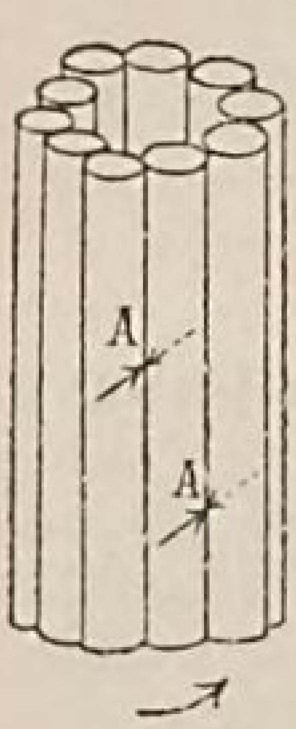
Fig. 102.



Ehe wir diejenigen Theorien in Angriff nehmen, welche als mehr oder minder sachlich anzuerkennen sind, sollen kurz diejenigen gestreift werden, die von der Gegenwart als unter allen Umständen unhaltbar zurückgewiesen werden müssen. — Wir überzeugten uns (S. 480), dass die Gezeiten, obwohl ihr innerstes Wesen die undulatorische Bewegung ist, gleichwohl auch zur Entstehung von Strömungen Anlass geben, und diesen Umstand wollten manche [237], unter denen v. Schilling durch eine sehr eingehende Darstellung [238] obenansteht, so verstanden wissen, dass die Strömungen ursächlich durch Ebbe und Flut bedingt seien. Natürlich wird nicht sowohl an die einheitliche Gezeitenwelle selbst, als vielmehr an die durch die Orbitalbewegung hervorgerufenen Gezeitenströmungen (S. 481) gedacht. Am Aequator, der den anziehenden Himmelskörpern am nächsten liegt, soll eine Flutströmung entstehen, mit welcher eine Ebbeströmung in höheren Breiten korrespondiert, und der Ausgleich beider Strömungen soll sich etwa unter 30° Breite — genauer wäre wohl 35° (S. 474) — vollziehen. Insoweit stimmt v. Schilling auch mit der von Ed. Schmidt [239] und Muncke [240] aufgestellten Hypthese überein, während die Art und Weise, wie er durch die beiden sich treffenden Meridionalströmungen Westströme, und in deren Gefolge sodann Ostströme, sich bilden lässt, sehr der Durchsichtigkeit entbehrt. Der ablenkenden

Aktion der Erdumdrehung wird da viel zu viel zugemutet, obwohl sie ja (s. u. in §. 11) auch in diesem Falle keineswegs ganz einflusslos ist. Auch ist es eine Verkennung der Natur der Wellenbewegung, wenn man das Ansteigen des Wassers auf Druckunterschiede zurückführt, welche eine Kompensation nötig machten. Gewiss kann auch der Umlauf der Gezeitenwelle um den Erdball Strömungsbewegungen nach sich ziehen, allein dann ist die Reibung die letzte Ursache, wie dies von Hertz [241] einleuchtend gemacht worden ist. Ueber die allfallsige retardierende Kraftleistung dieser Gegenbewegung ist früher (I, S. 234) gesprochen worden; mit den Meeresströmungen hat dieselbe nichts zu schaffen. Auch wird gegen v. Schilling von Mühry [242] ganz treffend eingewendet, „dass jedenfalls in den grossen Meeresströmungen etwas Rhythmisches gar nicht, sondern im Gegenteil eine gleichmässige Permanenz als charakteristisch zu erkennen ist". Kurz, jeder Versuch, oszillatorische und translatorische Bewegung der Ozeane aus gemeinschaftlicher Quelle herleiten zu wollen, muss verunglücken. — Kaum anders verhält es sich mit der Theorie von Blažek [243], welche auf eine unzulässige Verwertung des Prinzipes des Foucaultschen Pendelversuches (I, S. 243) hinausläuft. Der böhmische Mathematiker denkt sich einen ruhenden Wassercylinder mit kreisförmigem Querschnitte über einem Punkte der Erdoberfläche von der geographischen Breite φ aufgehängt, unter dem sich, falls W die Winkelgeschwindigkeit der rotierenden Erde ist, diese mit einer Geschwindigkeit gleich $W \sin \varphi$ wegdrehe. Dadurch soll der Cylinder in eine Rotation von entgegengerichtetem Drehsinne versetzt werden. Eine ähnlich gestaltete grössere Röhre soll sich aus unzählig vielen analogen Wassercylindern zusammensetzen, deren jede mit der erwähnten Achsendrehung begabt ist; „in einem mit unseren idealen Cylindern erfüllten Becken welcher Gestalt immer werden sich geschlossene, der Erdrotation entgegengesetzte Strömungen bilden, deren Centra zwischen dem 30. und 35. Breitengrade liegen, wenn letzteres die geographische Lage des Beckens überhaupt zulässt" [244]. Dagegen, dass dies geschehen könnte, sprechen zwei schwer wiegende Bedenken. Dem einen derselben gab Zöppritz [245] Ausdruck; Fig. 103 zeigt, wie berechtigt dasselbe ist. Fassen wir einen Punkt A ins Auge, welcher sich auf der gemeinsamen Seitenlinie zweier Elementarcylinder befindet, so wirken ersichtlich auf ihn zwei gleiche Drehimpulse entgegengesetzten Sinnes; Punkt A muss folglich in Ruhe bleiben, und das gleiche gilt für die Seitenlinie selbst und für das ganze Cylindersystem. Allein auch die Prämisse selbst ist unhaltbar; sie wäre nur dann richtig, wenn der Wassercylinder extratellurisch wäre, mit der Erde gar nicht in Verbindung stünde. Thatsächlich nimmt aber die Hydrosphäre an der Umdrehung der Lithosphäre genau so Anteil, als wenn sie ein Stück von dieser wäre, und wer auf einer Differenz der Rotationsgeschwindigkeiten beider Teile ein Lehrgebäude aufrichtet, verfällt in den Fehler Derer, welche zu Tycho Brahes Zeit (I, S. 236) der coppernicanischen Doktrin alle möglichen Paradoxien aufbürden wollten. — Nicht viel verschieden ist die ältere Anschauung Kants, der er huldigte [246], ehe tiefere Einsicht bei ihm die Oberhand gewann. Er erkannte zwar noch andere Motive an, aber das einflussreichste schien ihm gegeben durch eine allgemeine Bewegung des Ozeans von E nach W; „diese rührt von der Umdrehung der Erde um ihre Achse von Westen nach Osten her, indem dadurch das Wasser gleichsam zurückgeschleudert wird". Später hat Jarz [247] diese Anschauung wieder aufgenommen, aber sie widerspricht dem Fundamentalsatze des Coppernicus nicht weniger wie die in anderer Einkleidung dasselbe sagende Blažeksche Hypothese. Es verbleibt bei den Worten des alten Coppernicus, der dem Einwurfe, die Fortbewegung der Erde durch die Luft müsse sich als stetiger Luftzug offenbaren, die Erwägung entgegenstellte, dass Atmosphäre und Erdkugel doch nur ein Ganzes bildeten [248]. „Daher wird die Luft, welche der Erde am nächsten liegt, ruhig erscheinen, und ebenso werden es die in ihr schwebenden Gegenstände, wenn sie nicht vom Winde oder von irgend einer anderen, äusseren Kraft, wie es der Zufall mit sich bringt, hin und her getrieben werden . . ." — Einen anderen, aber freilich noch weniger festen Boden bekommen wir unter die Füsse, wenn wir die Meeresströmungen als einen Ausfluss der elektrischen oder magnetischen Erdkräfte hingestellt sehen. Eine solche Deduktion finden wir in der angeführten Abhandlung von Jungk [249]: „Die Erde besitzt eine grosse magnetische Kraft, und in ihrer Atmosphäre zeigen sich Erscheinungen mannigfacher Art, welche eine fortdauernde Elektrizitätsentwickelung voraussetzen und notwendig elektrische Ströme zur Folge haben müssen. Sollten

Fig. 103.



nicht diese Kräfte auf die bewegliche Masse der Erde einen Einfluss ausüben, der sie nötigt, ihren Ort zu wechseln? Die magnetischen und elektrischen Mittel, welche dem experimentierenden Physiker zu Gebote stehen, reichen wenigstens hin, im kleinen Erscheinungen hervorzurufen, welche solche Vermutung rechtfertigen." Wir glauben tieferen Eindringens in diese Hypothese überhoben zu sein, welche das Vorhandensein kontinuierlicher, zwischen Polen und Gleicher zirkulierender Ströme von Luftelektrizität annahm, denen — die Frage des warum? blieb begreiflicherweise in einiges Dunkel gehüllt — die primären Meridionalströmungen im Meere entsprechen sollten. Der Vollständigkeit halber musste auch dieser Lösungsversuch eine Stelle finden; hat doch noch später ein Amerikaner Beebe [250] den Erdmagnetismus zur Erklärung der Strömungen im Meere heranziehen zu müssen geglaubt.

Diesen ihrem innersten Wesen nach unzutreffenden, an grundsätzlichen Verfehlungen gegen anerkannte Wahrheiten leidenden Hypothesen treten nun schon frühe in der Geschichte dieses Zweiges der Ozeanographie andere gegenüber, deren Ausgangspunkt unangreifbar ist, wenn auch vielleicht die Ausführung gewissen Bedenken unterliegt. Es kann dies namentlich in dem Sinne zutreffen, dass Kräften, deren Existenz unzweifelhaft ist, Leistungen zugeschrieben werden, welche sich bei näherem Zusehen als quantitativ unmöglich herausstellen. Schon Kant (a. a. O.) nahm nebst der angenommenen, wenn schon thatsächlich nicht vorhandenen Aktion der Erdumdrehung noch zwei weitere Agentien in Anspruch: Verdunstung und Winde. Wesentlich denselben Standpunkt nahm A. v. Humboldt ein [251], indem er jedoch auch die Gezeiten und die regelmässigen Luftdruckschwankungen der Tropenzone (S. 185) beachtet wissen wollte. Am präzisesten drückt sich Carpenter aus, indem er — die Beschränkung auf Sundströmungen kann hier wegfallen — den Satz aufstellt [252]: Für das Zustandekommen von Meeresströmungen sind Unterschiede des Niveaus, der Temperatur, der Salinität und Luftbewegung massgebend. Das ist der Fall, aber freilich ist die Bedeutung der einzelnen, hier namhaft gemachten Faktoren nicht die gleiche, wie sich bei gesonderter Betrachtung derselben ergeben wird.

a) Temperaturunterschiede. Wir sehen, dass schon von dem Augenblicke an, da man überhaupt an eine Erklärung des damals noch wenig erforschten Vorganges dachte, die starke Erwärmung der äquatorialen Meeresbecken als primäre Ursache der Bewegung bezeichnet wurde (S. 513). Dieser Gedanke begegnet uns später immer wieder. In exakt wissenschaftliche Form hat anscheinend zuerst E. Schmid [253] die Lehre von der thermischen Bedingtheit der Meeresströmungen gebracht, und Baader [254] bemühte sich, alle damals bekannten Thatsachen auf dieses eine Prinzip zurückzuführen. „Das in den Aequatorialgegenden stärker erwärmte und verdunstende Wasser zwingt das kältere, zur Herstellung des Gleichgewichtes sich zu ihm hin zu bewegen. Da aber die Erwärmung nicht gleichzeitig in der ganzen heissen Zone stattfindet, so muss eben das kältere Wasser diesem Impulse folgen und mit physischer Notwendigkeit jenen Kreislauf beschreiben, welchen wir in der That sehen" [255]. Am meisten war Mühry bestrebt [256], eine umfassende Theorie der Strömungen auf die zwischen den einzelnen Teile der Erde bestehenden Erwärmungsdifferenzen zu gründen. Er unterschied in sämtlichen Weltmeeren zwei grosse Zirkulationssysteme: die longitudinale oder Rotationszirkulation und die latitudinale oder Thermalzirkulation. Erstere wird, wie ihr Name besagt, nachdem einmal durch leichte Wärmeströme Beeinträchtigungen des hydrostatischen Gleichgewichtses sich ergeben haben, durch die Achsendrehung der Erde in regelmässigem Gange erhalten, und da das abfliessende Wasser wieder ersetzt werden muss, so bilden sich ein Aequatorialstrom und zwei Antirotationsströme aus, welche jenen im Rückstrome umgeben sollen, wie es freilich nur für den Grossen Ozean einigermassen

zutrifft. Das andere System, den Passatwinden (S. 199) zu vergleichen, setzt sich aus der kälteren, dichteren Polarströmung und der wärmeren, spezifisch leichteres Wasser führenden Antipolarströmung auf jeder Halbkugel zusammen. — Gegen alle diese Ansichten besteht nur der eine, aber durchschlagende Gegengrund, der oben (S. 491) bereits gegen die thermische Begründung der Vertikalzirkulation angegeben wurde, und der durch Croll einerseits [257], durch Haughton und Emerson Reynolds andererseits [258] rechnerisch bekräftigt ward. Die durch Wärmedifferenzen ausgelösten Ströme besitzen eine so überaus geringe Geschwindigkeit, dass die grossen Meeresströmungen, welche sich zumeist sehr rasch fortbewegen, mit ersteren durchaus nicht verglichen werden können. Und zudem sind die Differenzen, wenn man den Raum in Betracht zieht, durch welchen hindurch sie wirken sollen, nicht einmal bedeutend zu nennen. Gegen Baader (s. o.) bemerkt Krümmel [259] mit Fug: „Da die täglichen Schwankungen der Wassertemperatur im offenen Ozean 2° nirgends übersteigen und überdies in 50 m Tiefe gänzlich verschwinden, so kann eine solche Wirkung der Sonnenstrahlen niemals auftreten. Auch das (S. 491) erwähnte Wannenexperiment von Carpenter unterliegt denselben Einwürfen [260], sobald man es zur Erklärung ozeanischer Verhältnisse verwerten will.

b) Dichteunterschiede. Hier stehen wir bereits auf wesentlich gesicherterem Boden. Wenn wir bedenken, wie die Verdunstung unaufhörlich daran arbeitet, die an sich schon — durch Ungleichheit des Salzgehaltes (Kap. III, §. 8) — vorhandenen Dichteunterschiede zu erhöhen; wenn wir weiter erwägen, dass innerhalb einer Flüssigkeitsmasse nur dann Gleichgewicht bestehen kann, wenn innerhalb derselben Horizontalschicht Homogeneität obwaltet; so dürfen wir von vornherein erwarten, dass Dichteausgleichströme den Meeren nicht fehlen werden. So haben wir ja auch die Ueberzeugung gewonnen, dass die ozeanische Vertikalzirkulation in solchen Strömen, die wir uns übrigens nicht zu einer kohärenten Strömung aneinandergereiht zu denken brauchen, ihren letzten Grund haben muss. Wir werden weiterhin (in §. 12) sehen, dass die Strömungen der Meerengen derselben Kategorie von Strömungsprozessen eingeordnet werden können. Die grossen ozeanischen Bewegungen dagegen würden schon deshalb nicht auf die gleiche Entstehungsursache zurückgeführt werden können, weil bei ihnen der kompensierende Unterstrom, ohne den wir uns solche Dichteausgleiche gar nicht vorstellen können, vollständig fehlt, weil auch dann, wenn der betreffenden Strömung eine grosse Mächtigkeit in vertikaler Richtung eignet, die Bewegungsrichtung in beliebiger Tiefe mit der Bewegungsrichtung an der Oberfläche übereinstimmt. Wenn mithin durch Maury [261], auf dessen Eingreifen Pahde [262] diese Phase in der Entwickelung der Strömungstheorien zurückführt, eine Konstruktion der grossen Zirkulationssysteme auf die Vergleichung der Salinitätsverhältnisse begründet werden wollte, so musste diese Erklärung auf entschiedenen Widerspruch stossen. Mühry [263] und Krümmel [264] gehörten hauptsächlich zu diesen Gegnern. Aber auch vor Maury war bereits die Frage, ob die Verdunstung über besonders heissen Meeresteilen namhafte Strömungen auszulösen im stande sei, besprochen und verneinend beantwortet worden. Jungk z. B. sucht die Verdunstungsbeträge zu berechnen und meint nach Mitteilung der betreffenden Zahlenwerte [265]: „Hiernach scheint die Verdunstung, wie sie in der heissen Zone höchstens angenommen werden kann, keineswegs hinreichend zu sein, die beobachteten Meeresströme zu erklären.“ — Wenn nun aber auch darüber Gewissheit herrscht, dass die Oberflächenzirkulationen, welche in §. 6 bis 9 beschrieben wurden, auf die hier in Rede stehende Weise nicht zu verstehen sind, so hat man doch auch wieder durch Mohns Untersuchungen [266], welche durch Krümmels dankenswerte Bearbeitung [267] den Deutschen zugänglich gemacht worden sind, in Erfahrung gebracht, dass beim Zustandekommen gewisser Meeresbewegungen in Randmeeren und Küstengewässern Dichteungleichheiten eine sehr bedeutsame Rolle zu spielen berufen sind. Wir haben es natürlich mit je einer Ober- und Unterströmung zu thun, und da muss es denn eine Niveaufläche geben, für welche, da oberhalb und unterhalb Druckdifferenzen — den Dichtedifferenzen entsprechend — mit ungleichem Zeichen sich finden, diese Druckdifferenz zu Null wird. Wir nennen dieselbe mit Mohn die Dichtefläche. Dieselbe weist für die Nordsee mehrfache Undulationen auf, und diese übertragen sich auch auf die Oberfläche des im übrigen als bewegungslos gedachten Meeres. Wenn man auf der anderen Seite im Strömungsbereiche eine Fläche sich konstruiert

denkt, die Windfläche [268], welche sich unter dem gemeinsamen Einflusse von Windaktion, Schwerkraft und Rotationsablenkung herausbildet, so entsteht durch Kombination beider Agentien, Dichteverschiedenheit und Luftbewegung, eine dritte Fläche, die Mohnsche Stromfläche, welche als mit der wirklichen Oberfläche des in angegebener Art gewissen Kraftäusserungen ausgesetzten Meeres identisch betrachtet werden kann. Wenn für ein Orthogonalsystem, dessen positive Z-Achsenrichtung in den verlängerten Erdradius fällt, $z = \varphi(x, y)$ und $z = \psi(x, y)$ resp. die Gleichungen von Dichte- und Windfläche sind, so ist $z = \varphi(x, y) + \psi(x, y)$ die Gleichung der Stromfläche in jenem Systeme. Nachdem im allgemeinen die Stromfläche der Nordsee bestimmt war, liessen sich mit ihr die wirklich wahrgenommenen Strömungen dieses Nebenmeeres sehr gut vereinbaren; ein Beweis dafür, dass unsere obige Behauptung zutreffend ist. Die Nordseeströmungen hängen einmal — worüber der nächste Paragraph Klarheit verbreiten wird — von der dort ständigen Luftdruckerniedrigung (S. 191) und dann von dem Eindringen kalten Polarwassers in der Tiefe ab, über welchem weg das wärmere Oberflächenwasser dem Atlantik zuströmt. Auch die Wirkung des Golfstromes (S. 502) wird nicht ganz vernachlässigt werden dürfen [269]. Die von Irminger [270] untersuchten, oft krausen Strömungsbilder der Island umgebenden Meere (s. Fig. 101) erfordern zu ihrer Interpretation gleichfalls die soeben gewonnenen Thatsachen, und auch für den sibirischen Küstenstrom im nördlichen Eismeere ist die Dichteverteilung massgebend [271]. Die ungemein grosse Langsamkeit der „Jeanette“- und „Fram“-Trift (S. 512) legt auch sofort die Vermutung nahe, dass Unterschiede im spezifischen Gewichte der östlichen und westlichen Eismeergewässer dieselbe bewirken. Im Osten nimmt das Meer gewaltige Wassermassen aus den Flüssen des asiatischen Meeres auf, und diese können das Meerwasser nur verdünnend beeinflussen, so dass also die Einleitung zu einem allmählich gegen W treibenden Oberstrome, dem folgerichtig eine entgegengesetzt gerichtete Unterströmung entsprechen muss, gegeben erscheint.

c) Niveauunterschiede. Strenge genommen sind auch die Strömungen, welche uns unter a) und b) beschäftigten, das Ergebnis von Niveaudifferenzen, die nur aber so geringfügig wären, dass man sie nicht durch direkte Beobachtung festzustellen vermöchte. Ihr Vorhandensein wird vielmehr nur indirekt, eben aus den Strömungen, erschlossen. Es hat aber auch nicht an Stimmen gefehlt, welche sich in dem Sinne vernehmen liessen, dass primäre Niveauungleichheiten — einerlei, wie man sich dieselben entstanden denken möge — ein stetiges Hinabfliessen von den höher zu den tiefer gelegenen Meeresräumen bedingten. In den Instruktionen, welche Arago für die damals in Frankreich ausgerüsteten ozeanischen Forschungsreisen (1838) ausfertigte, stellt er [272] die Frage: „Ces courants, quelle en est la cause?“ Er berührt mehrere Möglichkeiten, betont aber doch am entschiedensten den Umstand, dass vielleicht verschiedene Meere ungleiche Spiegelhöhen besässen. Die Belege, welche er dafür anführt, erscheinen ihm freilich zum Teil nicht stichhaltig und würden heutzutage durchweg nicht mehr als stichhaltig anzuerkennen sein. Hätte Arago Kenntnis von den Präzisionsnivellements der Gegenwart (I, S. 229) gehabt, er würde sich von diesem Elemente noch weniger versprochen haben, als er thatsächlich thut. — Ganz anders, wenn auch prinzipiell verwandt, ist die von Witte [273] speziell für den Golfstrom aufgestellte Theorie, gegen welche sich u. a. Colding [274] und Pahde [275] gewandt haben. Wir sehen von dem an die Spitze gestellten Theoreme Wittes, dass die Anordnung der Niveauflächen eine Bewegung des Wassers von den Polen zum Aequator nötig mache, ab, weil wir über die Möglichkeit meridionaler Strömungen bereits ausreichend gesprochen haben, und halten uns nur an seine eigentümliche Auffassung des „Kalten Walles“. Das kalte Grundwasser, so nimmt er an, quelle mit Macht zwischen der Küste und dem Westrande der Floridaströmung empor, und zwar werde diese Pressung durch jene Strömung selbst bewirkt; die Achsendrehung hebe die Gewässer im östlichen Teile in die Höhe, und die Fläche des Stromes könne nicht als eine horizontale, sondern als eine dachförmig gegen die Küste sich neigende Fläche betrachtet werden. Das aufsteigende Bodenwasser arbeite stetig an der Beseitigung dieser Niveaudifferenz, ohne sie aber, da ja auch deren erzeugende Kraft immer im gleichen Sinne wirke, erreichen zu können. In einer gewissen Beziehung antizipiert Wittes Erklärung, das muss zugestanden werden, die Errungenschaften der neuesten Zeit; dieselbe leugnet die polare Herkunft der Küstengewässer, und in der That weiss man jetzt durch G. Schott (S. 504), dass „Kalter Wall“ und alle die schwachen Küstenströme süd-

lich von Kap Hatteras nicht vom Labradorstrome genährt werden. Im übrigen haben die neueren Golfstromuntersuchungen die empirische Grundlage, auf welcher Witte fusst, nicht bestätigt.

Unsere Ueberlegungen haben zu der Erkenntnis geführt, dass Niveaudifferenzen, sie mögen auf welche Art und Weise immer durch Unterbrechung des ozeanischen Gleichgewichtszustandes sich gebildet haben, nicht genügen, um die über ungeheure Meeresräume ihren Weg beschreibenden Meeresströmungen kausal zu erklären. Allein, wenn wir schon oben bei der Schilderung der einzelnen Fälle und in der Legende zur Stromkarte (Fig. 101) die Bezeichnung Gegenströmungen angewandt haben, so wollten wir doch offenbar damit andeuten, das zwischen diesen und den Meeresströmungen schlechtweg ein gewisser begrifflicher Unterschied bestehe. Bisher haben wir demselben keine Rechnung getragen; nunmehr aber ist die Zeit gekommen, dies zu thun. Jeder Seemann weiss, was eine Neer oder Neerströmung ist [276]; eine Wasserbewegung, welche unter spitzem, oft nahe an Null heranreichenden Winkel von einem Strome abweicht und sich in nahezu entgegengesetzter Richtung fortpflanzt. Die Natur verlangt unter allen Umständen für jedwede Strömung auch zugehörige Neer- oder Gegenströmungen, deren Zweck es ist, die aus dem Wesen jeder Strömungsbewegung folgenden Niveauungleichheiten auszugleichen, die an einer bestimmten Stelle sonst entstehende Durchbrechung der Kontinuität zu verhindern. Man kann mit vollem Rechte also auch von Kompensationsströmen sprechen.

Die Hydrodynamik hat einige Fundamentalgleichungen aufgestellt [277], denen sich jedwede Bewegung innerhalb einer homogenen Flüssigkeitsmasse, welches auch sonst die besonderen Bedingungen sein mögen, anpassen muss; sie werden teils in der Eulerschen, teils in der Lagrangeschen Form zu Grunde gelegt. Wenn ein Flüssigkeitsteilchen, dessen Schwerpunkt die rechtwinkligen Koordinaten x, y, z hat, von Kräften angegriffen wird, deren nach den Achsen genommene Komponenten u, v, w sind, so muss stets die Kontinuitätsgleichung

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0$$

erfüllt sein [278]; mit einer stets nur im gleichen Sinne geschehenden Bewegung, die ja aber doch nicht sich selbst zu unterhalten vermag, wäre obige Gleichung unverträglich. Wenn dem so ist, darf man sich nicht wundern, Gegenströmungen allenthalben zu finden. Teilweise ist auf charakteristische Beispiele bereits aufmerksam gemacht worden; erinnert sei nur an die grosse pazifische Gegenströmung (S. 506), an „El Nino“ (S. 507) und an die Peruanische Südströmung (S. 507). Im Mittelländischen Meere sind die beiden Syrten durch einen Strom gekennzeichnet, der sich als Neerstrom, veranlasst durch die parallel der nordafrikanischen Küste hinstreichende Hauptströmung jenes Meeresbeckens, zu erkennen gibt [279]. In §. 11 wird der Aufsuchung der Modalitäten, unter denen die Gegenströme verlaufen, noch näher getreten werden können.

Wir wissen, dass J. Vossius sämtliche Meeresströmungen in zwei Klassen teilte (S. 513): in solche, die durch eine rasch fortbewegte Wärmequelle (die Sonne) erzeugt werden, und in solche, die nach der so entstandenen Lücke hinfliessen. Man kann, auch was die Terminologie betrifft, in Vossius den Urheber einer Lehre von den Kompensations- oder Ausgleichsströmungen erblicken [280]. Dass Mührys kalorische Hypothese im innersten Wesen auf dasselbe hinausläuft, ist schon hervorgehoben worden (S. 515). Auch Maury [281] war sich über die Natur dieser Strömungen klar; nicht minder hat Fritz [282] die Wirkung der erstattenden Strömungen plastisch gezeichnet. In dieser Auslegung bewährt sich des Varenius Wort [283], der ganze Ozean gerate in Bewegung, sobald

solche einem seiner Teile eingepflanzt worden sei. Krümmel (s. o.) und Supan übertragen [284] Airys' Einteilung (S. 445) der Wellen in gezwungene und freie auch auf die strömenden Bewegungen; gezwungene Strömungen sind solche, welche direkt unter einem gegebenen Impulse sich bilden, und als freie Strömungen bestehen sie auch dann noch fort, wenn die ursprünglich bewegende Kraft längst zu wirken aufgehört hat. So zerfallen denn sämtliche Meeresströmungen in primäre — durch die im nächsten Paragraphen zu erläuternde Ursache ausgelöst und selbst wieder in gezwungene und freie sich teilend — und in sekundäre, d. h. in Kompensationsströmungen.

Von diesen letzteren erheischt noch eine Form eine besondere Erörterung, nämlich die von Ekman [285] nachgewiesenen Reaktionsströmungen. Statt dieser etwas zu allgemeinen Benennung schlug Zöppritz [286] eine präzisere vor, Aspirationsströmungen. Dieselben sind eine regelmässige Erscheinung an gewissen Flussmündungen, indem die Wasser des Meeres in diese einströmen müssen, um den entstandenen Defekt zu decken.

Es handelt sich um Aestuarien (S. 482) von trichterförmiger Gestalt, aus welchen das Flusswasser als halbcylindrischer Strahl austritt, um sich im Meere — oder auch in einem Binnensee — zu verlieren. Da, wo fliessendes und ruhiges Wasser sich berühren, findet fortwährend eine Adhäsion des letzteren an ersteres statt; Teilchen der ruhenden Masse werden fortgerissen, und es würde ein leerer Raum entstehen, wenn nicht im stehenden Wasser sich eine — völlig an den Prozess des Aufsaugens erinnernde — Gegenbewegung einstellte. Man kann zweifellos ganz allgemein die Ursache, welche Kompensationsbewegungen hervorruft, als eine Aspiration bezeichnen, und sieht sich dann einem allgemeinen, über den von Ekman behandelten Sonderfall weit hinausgehenden Naturgesetze gegenübergestellt.

Demselben erteilt Pahde [287] eine Formulierung, welche wir hier wiedergeben wollen. „Bei allen Strömungen ist eine Ausgleichung zur Aufrechterhaltung der Kontinuität wirksam, und manche Strömungen sind in erster Linie als Kompensationsströmungen oder ‚erstattende' Ströme aufzufassen." So wäre denn das Problem als ein gelöstes zu betrachten, wenn wir auch die primäre Kraft erkannt hätten, welche ausgedehnte Wassermassen in translatorische Bewegung zu versetzen vermag. Als diese Kraft werden wir die Wirkung des Windes auf das ruhende Meer nachweisen.

§. 10. **Erklärung der Strömungen durch Luftadhäsion und Reibung.** Die Seeleute, durch steten Umgang mit Verhältnissen vertraut geworden, welche vom Studierzimmer aus nicht immer im wahren Lichte sich darstellen, waren unter sich schon lange darüber einig, dass der Wind den Strom mache [288]. Man begegnet dieser Ansicht auch verhältnismässig häufig in der älteren Litteratur, ohne dass dieselbe doch zu allgemeiner Anerkennung sich durchgerungen hätte. Erst unserer Zeit war es vorbehalten, die wissenschaftliche Begründung zu liefern, ohne welche die Vermutung der Praktiker des festen Haltes entbehren musste.

Varenius, der, wie erwähnt (S. 513) die sonst für sein Werk charakteristische Klarheit bei dieser Frage einigermassen vermissen lässt, sah zwar ein [289], dass der Wind das Wasser forttreiben könne, aber die Macht, wirkliche Strömungen hervorzubringen, vermeinte er der mehr zufälligen Windwirkung nicht zuschreiben zu dürfen. Für den allein von ihm genauer geprüften Fall des Golfstromes nahm Franklin (s. u. S. 500) das regelmässige Wehen der Passatwinde als notwendige und ausreichende Causa movens an, und es hätte damals nicht

viel gefehlt, dass seine Auffassung, welcher zufolge der stete Druck dieser Winde das schnelle Entweichen der Gewässer aus der Enge der Florida-Strasse erzwingt, die ganze wissenschaftliche Welt für sich gewonnen hätte [290]. Hatte doch schon Kant, trotzdem er noch etwas unsicher herumtastete (S. 515), den lapidaren Satz ausgesprochen [291]: „Wenn lang anhaltende Winde nach einem Striche gehen, so bewegen sich auch die Ströme, die durch sie verursacht werden, nach einem Striche.“ Man beachte, dass schon vollkommen korrekt auf den Charakter des Windes als Dauerwind der Nachdruck gelegt ist. Auch Otto, der die Ströme in „beständige“ und „unbeständige“ scheidet, möchte zwar nur betreffs der letzteren die Winde als auslösende Ursache ansprechen, kann aber doch nicht umhin, das weitergehende Zugeständnis zu machen [292]: „So viel ist gewiss, dass beständige Winde dergleichen in grosser Anzahl hervorbringen.“ Und nicht minder scharfsichtig deutet er auch das Wechselspiel der Strömungen im Monsungebiete des Indischen Ozeans (S. 509), indem er fortfährt: „Hier gehen die Ströme beständig mit dem Winde, und so wie diese ihren Zug periodisch ändern, so verändert sich auch die Richtung des strömenden Gewässers.“ Systematisch fasste in dem nachgelassenen, durch den Sohn des Verfassers herausgegebenen Hauptwerke (S. 494) Rennell die Lehre von den Winden und Meeresströmungen zusammen, in welchem er den Beweis erbrachte [293], dass in der That einzig und allein die konstanten Winde es seien, welche die Golfstrombewegung veranlassten. Leider jedoch verallgemeinerte er diese Erkenntnis nicht, sondern begnügte sich mit der so lange beibehaltenen Klassifikation der Strömungen, deren es zwei prinzipiell verschiedene Arten geben sollte: „Drift-Currents“, ein Erzeugnis der stetig in gleichem Sinne die Oberfläche bearbeitenden Dauerwinde, und „Stream-Currents“, die anderen Agentien ihr Dasein verdanken, mehrenteils aber als indirekte Folgeerscheinungen der ersteren Kategorie angesehen werden sollten. Muncke vertiefte [294] die Rennellsche Theorie noch durch den Hinweis auf die Adhäsion zwischen bewegter Luft und ruhigem Wasser. Die Trifttheorie blieb insbesondere bei den Engländern in Ehren, aber der Geltungsbereich, den man ihr einräumte, war ein viel zu bescheidener. Selbst nachdem die gleich nachher zu besprechende Entdeckung gelungen war, konservierte sich eine veraltete Zweiteilung, und erst P. Hoffmanns Monographie [295] räumte endgültig mit derselben auf.

Der Grund, weshalb man die Windströmungen als eine verhältnismässig beschränkte Erscheinung ansah, ist leicht zu verstehen; man wollte nicht zugeben, dass die anscheinend gar nicht so beträchtliche mechanische Energie der Passate zu so gewaltigen Kraftleistungen, wie sie im Golfstrom oder Kuróschio uns entgegentreten, befähigt sein sollte. Dieser Meinung huldigt u. a. Arago [296]: „Les alizés sont des vents constants, mais leur force est très-médiocre. Ainsi des dénivellations qu'ils peuvent occasioner doivent être faibles.“ Man meinte, ein Orkan müsse mehr zuwege bringen, als ein gewöhnlicher Wind; ein Aufsatz von Eichler [297], der in einer Zeit geschrieben ist, da man schon viel besser unterrichtet sein konnte, bewegt sich noch ganz in diesem falschen Gedankenkreise. Auch konnte man mit einigem Rechte an der angeblich so geringen Tiefe des Eindringens der Luftimpulse Anstoss nehmen; Findlay [298] wollte gefunden haben, dass bereits in 10 m Tiefe vom Passatwinde nichts mehr wahrzunehmen sei, während man doch wusste, dass die vertikale Mächtigkeit des Golfstromes eine weit grössere sein müsse. Nicht zufällige Beobachtungen, sondern nur gesunde physikalische Reflexionen konnten der Lehre von den Meeresströmungen über den toten Punkt hinweghelfen, an welchem sie um die Mitte der siebziger Jahre angelangt war.

Die Arbeiten [299] von Zöppritz, der ebensosehr als Physiker wie als Geograph die Gesamtheit der einschlägigen Aufgaben mit klarem Blicke überschaute, haben die Wendung eingeleitet, und zwar mit solchem Erfolge, dass nur unwesentliche Modifikationen sich als nötig herausstellten. Wenn wir das Wesen der von ihm gegebenen Theorie darlegen wollen, denken wir uns die Flüssigkeitsmasse, deren Aussenseite der Wind angreift, am besten in eine unendlich grosse Zahl unendlich dünner Flüssigkeitsplatten zerlegt, deren jede durch zwei distinkte, horizontale Grenzflächen von der zunächst über und

zunächst unter ihr befindlichen Platte getrennt ist. Auf die Aussenfläche der obersten Platte wirkt der Wind, zwar nicht im strengen Wortsinne konstant, aber doch kontinuierlich, indem seine Thätigkeit das ganze Jahr hindurch niemals erlahmt. Solche Winde sind eben die Passatwinde, von denen man wohl behaupten darf, sie müssten seit der Zeit, als die Erdoberfläche ihre bekannten solaren Zonen erhielt, bis zum heutigen Tage wesentlich in der gleichen Weise geweht haben. Jene Zoneneinteilung bestand aber, wir wir sahen (S. 339), schon in altersgrauer geologischer Vorzeit. Indem Wasser und Luft aneinander haften, wird die oberste Wasserplatte 1 von der Luftströmung mit fortgezogen; Platte 1 hängt durch den Prozess der inneren Flüssigkeitsreibung mit der zunächst unter ihr befindlichen Platte 2 zusammen, die selbst in Bewegung versetzt wird und den Antrieb zur Bewegung auf Platte 3 überträgt. So pflanzt sich der vom Winde gegebene Impuls allmählich bis in die grössten Tiefen fort.

Zöppritz hat alle diese Verhältnisse, wie wir sie hier kurz charakterisierten, der Rechnung unterworfen und dadurch für viele Einzelfragen, denen eine hohe Bedeutung zukommt, vollständige Klärung erlangt. Er ging davon aus, die von der mathematischen Physik für das Wesen einer Strömung überhaupt aufgestellten Formeln auf den hier vorliegenden Fall anzuwenden. Wenn wir die vorhin (S. 518) eingeführten Bezeichnungen beibehalten, so lässt sich die Bedingung dafür, dass die betrachtete Bewegung eine Strömung ist, durch die drei Gleichungen $\partial w : \partial y = \partial v : \partial z$, $\partial u : \partial z = \partial w : \partial x$, $\partial v : \partial x = \partial u : \partial y$ fixieren. Dies wäre aber wiederum nicht möglich, wenn nicht eine Funktion φ von der Beschaffenheit existierte, dass

$$u = -\partial \varphi : \partial x, \quad v = -\partial \varphi : \partial y, \quad w = -\partial \varphi : \partial z$$

gesetzt werden kann [300]. H. v. Helmholtz, der diese Beziehungen zuerst in ihrer vollen Bedeutung für die Lehre von der Bewegung tropfbarer Flüssigkeiten erkannte [301], nennt diese Funktion φ (x, y, z) das Geschwindigkeitspotential. Wenn ein solches vorhanden und wenn zudem die Flüssigkeit inkompressibel ist, was ja nach Oersteds Versuchen [302] mit einer an volle Thatsächlichkeit grenzenden Annäherung zutrifft, so nimmt unsere Kontinuitätsgleichung die nachstehende Form (vgl. I, S. 211) an:

$$\frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial z^2} = 0.$$

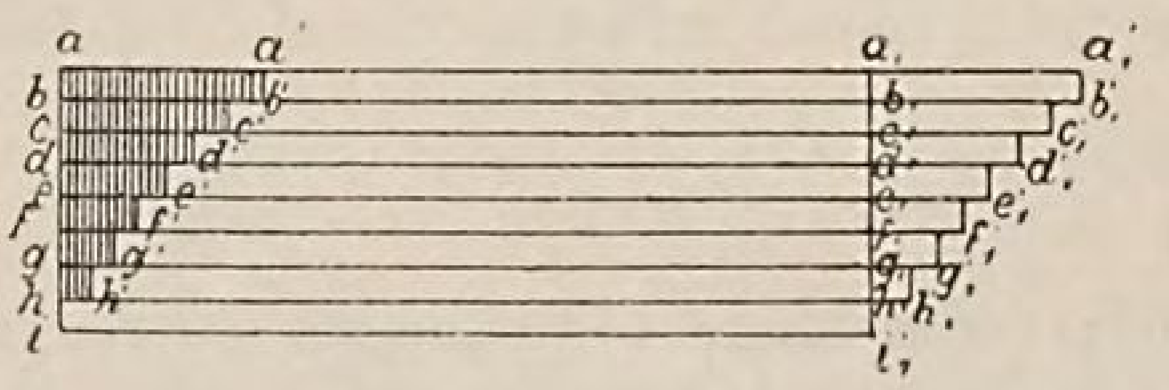
Eine Rotationsbewegung kann in solcher Flüssigkeit nicht neu entstehen. Von den Geschwindigkeitskomponenten haben wir erfahren, dass sie von der Zeit unabhängig sind; die Strömung wird dann eine stationäre genannt. In diesem Zustande befinden sich die durch Dauerwind erzeugten Strömungen des Meeres. Gestützt auf die vorstehenden Thatsachen, konnte Zöppritz [303] einen Ausdruck ermitteln für die Tiefe, bis zu welcher ein gegebener oberflächlicher Impuls sich in gleichfalls gegebener Zeit fortpflanzt. Er gelangte so zu dem für die Lehre von den Strömungsprozessen fundamentalen Resultate: Wirken auch starke Oberflächenkräfte nur kürzere Zeit, so werden auch nur dünne Schichten in Mitleidenschaft gezogen; wird aber einer an sich noch so schwachen, aber unausgesetzt gleichmässig und im gleichen Sinne wirkenden Kraft hinreichend Zeit vergönnt, so erreicht jene Aktion — natürlich entsprechend abgeschwächt — schliesslich jede noch so beträchtliche Tiefe.

Das Gesetz, nach welchem sich die Uebertragung von oben nach unten vollzieht, ist bereits von Newton angegeben worden [304]. Wenn eine bewegte Flüssigkeit an einer ruhenden hingleitet, so dass ein gewisser Reibungswiderstand zwischen beiden wachgerufen wird, so ist derselbe proportional dem Geschwindigkeitsgefälle, bezogen auf die Flächeneinheit; zwei benachbarte, nur durch den

unendlich kleinen Abstand dz voneinander getrennte Flächen haben somit auch nur eine unendlich kleine Geschwindigkeitsdifferenz du, und man kann die durch innere Reibung bedingte Beschleunigung gleich $du : dz$ setzen, und, wenn f den Koëffizienten der inneren Reibung bedeutet, so ist $f du : dz$ die Beschleunigung selbst. Ursprünglich kannte man nur eine Friktion zwischen verschiedenen Stoffen, und in der That, da, wo die Flüssigkeit an Luft, an einen festen Körper oder auch an eine anders beschaffene Flüssigkeit angrenzen würde, müsste auch an die Stelle von f der Koëffizient der äusseren Reibung treten. Durch die Untersuchungen von Graham und Bunsen wurde man aber darauf geführt, dass es auch im Inneren eines homogenen Körpers einen Reibungswiderstand gibt, wenn äussere Kräfte auf denselben einwirken [305]; wenn eine solche Möglichkeit auch schon früher geahnt worden war [306], so stellte sie doch zuerst Stokes [307] begrifflich und mathematisch exakt fest, und durch Poiseuille [308] und Hagenbach-Bischoff [309] wurde ein Anfang mit der wirklichen Emittelung der Reibungskonstanten oder, wie wir uns oben ausdrückten, Reibungskoëffizienten gemacht. O. E. Meyer [310], v. Obermayer [311] und zahlreiche andere Physiker haben die Theorie der inneren Reibung weiter ausgebildet und zugleich die Konstanten für eine Reihe von Gasen und Flüssigkeiten bestimmt; für süsses Wasser ist z. B. der fragliche Koeffizient gleich 0,01775, für Meereswasser gleich 0,01440, für Alkohol gleich 0,01838 [312]. Der Quotient, den man erhält, wenn man mit dem Koeffizienten der äusseren Reibung in den der inneren Reibung dividiert, heisst nach O. E. Meyer [313] der Gleitungskoëffizient; er wirkt der Reibung entgegen und ist von Wichtigkeit, wenn es sich um die Bewegung der Flüssigkeit in Röhren oder Kanälen handelt.

Aus didaktischen Gründen wird es sich empfehlen, den Vorgang der Fortleitung von Impulsen und die Rolle, welche die innere Reibung hiebei zu spielen berufen ist, in Parallele zu stellen mit einem leicht anzustellenden Versuche, der zwar nur von der äusseren Reibung Gebrauch macht, aber doch eine unverkennbare Aehnlichkeit aufweist. In Fig. 104 sehen wir eine Anzahl dünner Platten, sagen wir Papierbogen, so zusammengelegt, dass sie ein rechtwinkliges Parallelepipedum bilden; abb_1a_1, bcc_1b_1, cdd_1c_1, dee_1d_1, eff_1e_1, fgg_1f_1, ghh_1g_1, hii_1h_1 sind die einzelnen Schichten. Denken wir uns nun, es wirke längs der obersten Fläche aa_1 ein an sich noch so schwacher, jedoch immer gleichmässiger Bewegungsantrieb, wie er vielleicht durch sanftes Streichen der Hände, die abwechselnd in dem nämlichen Sinne sich bewegen, ausgeübt werden kann, so wird nach einer gewissen Zeit nur die unterste Schicht ihren Platz unverändert beibehalten haben, während jede höhere sich um ein der Tiefe umgekehrt proportionales Stück in der Bewegungsrichtung verschoben hat. Die einzelnen Platten haben jetzt die folgende Lage angenommen: $a'b'b'_1a_1'$, $b'c'c'_1b'_1$, $cd'd'_1c'_1$, $d'e'e'_1d'_1$, $e'f'f'_1e'_1$, $f'g'g'_1f'_1$, $g'h'h'_1g'_1$. Aus dem parallelepipedischen Plattensysteme ist das durch die Zeichnung dargestellte terrassenförmige System geworden.

Fig. 104.



Die Theorie von Zöppritz, welche bezüglich der grossen ozeanischen Strömungen jetzt allgemein angenommen ist, beweist uns mithin, dass diese progressive Bewegung des Meeres keineswegs auf eine mehr oder minder dicke Oberflächenschicht beschränkt ist, sondern dass sie sich in die grössten Tiefen hinab fortsetzt, wo sie natürlich fast unmerklich werden muss. Den obigen internen Reibungskoëffizienten vorausgesetzt, dauert es nach Zöppritz beziehungsweise 41 und 239 Jahre, bis eine Schicht in 100 m Tiefe eine Geschwindigkeit $= {}^1/_{10}\,a$ oder ${}^1/_2\,a$ erreicht hat, wenn a diejenige an der Oberfläche ist, und wenn seit dem Zeitpunkte, als die Passate zu wehen begannen, 200000 Jahre verstrichen sind, so befindet sich der von ihnen beherrschte Meeresteil im Zustande der stationären Bewegung (s. o.).

Dann ist die Abnahme der Geschwindigkeit eine der Tiefe proportionale geworden.

Umgekehrt ist einleuchtend, dass Winde, welche nur kurze Zeit wehen, keine tiefer eindringende Aktion zu leisten vermögend sind. „Ist die Geschwindigkeit der Oberfläche," sagt Zöppritz [314], „mit der Zeit periodisch veränderlich, so wie dies alle von Jahreszeiten und Tagesstunden abhängigen Winde sind, so wird, nachdem dieser periodische Zustand eine unendlich lange Zeit hindurch geherrscht hat, die Geschwindigkeit in jeder Tiefe eine periodische Funktion der Zeit von gleicher Periode, aber mit nach abwärts schnell abnehmender Amplitude der Veränderlichkeit und verzögertem Eintritte der Maxima und Minima". In Gemässheit dieses Satzes haben wir uns die Verhältnisse der Strömungen in dem unter der Einwirkung der Jahreszeiten stehenden (nördlichen) Teile des Indischen Ozeans zurechtzulegen. An der Oberfläche setzt die Strömung mit dem Windwechsel um (S. 509), und schon in geringer Entfernung vom Meeresspiegel ist von einer kontinuierlichen Strömung nichts mehr zu bemerken. Daran wird nichts durch die von Walther [315] mitgeteilte Thatsache geändert, dass unter der Herrschaft des SW-Monsuns die Strömungsenergie in engen Meeresstrassen unerwartet hohe, sogar gefahrdrohende Formen und Intensitäten gewinnen kann.

§. 11. Beeinflussung der Strömungen durch anderweite Momente.

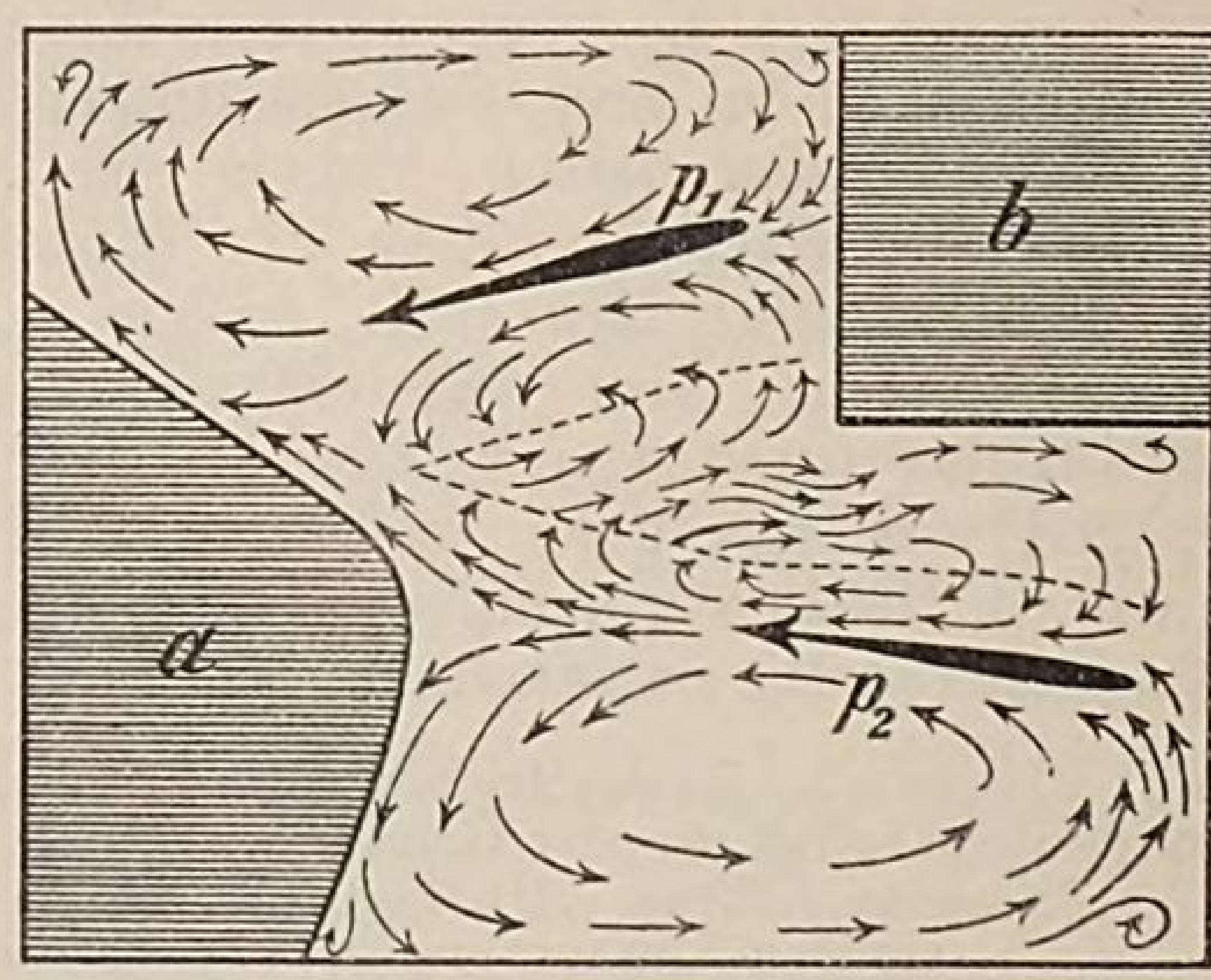
Die Hauptarbeit ist von Zöppritz gethan, aber es liegt am Tage, dass damit noch keineswegs alle die fast zahllosen Einzelerscheinungen, welche die Meeresströmungen in ihrer Vielgestaltigkeit darbieten, zugleich ihre Erklärung gefunden haben. Schon eine allgemeine Betrachtung des Sachverhaltes zeigt uns, dass eine ganze Reihe sekundärer Momente berücksichtigt sein will, welche die reine Windwirkung beeinflussen können. Dies sind die Konfiguration des Meeresbodens, die Küstengestaltung, die Luftdruckverteilung, die Erdrotation und vielleicht auch noch gewisse interne Strömungserscheinungen. Selbstverständlich hat man diese verschiedenen Faktoren nicht für gleichwertig zu erachten.

a) Bodengestalt. Hätten die Verfechter der Lehre von den Seegebirgen (S. 395) recht, so würde die Fortleitung der Oberflächenantriebe nach unten mit vielen Hemmnissen zu kämpfen haben. „Buffon glaubt" — nach Ottos Bericht [316] — „dass die beständigen Strömungen gewissermassen das seien, was die Flüsse auf dem Lande sind, und nimmt eine doppelte Reihe von Seegebirgen an, die er sich als die Betten und Ufer der Meeresströme vorstellt." Diese bequeme Vorstellung ist nun zwar durch die Lotungen als völlig unrichtig erwiesen worden, aber wahr bleibt immerhin, dass eine Strömung, welche über coupiertem Terrain sich hin bewegt, Modifikationen ausgesetzt sein muss, welche fehlten, solange sie ein gleichmässig tiefes Meer durchzog. Krümmel hebt hervor [317], dass die den grossen Triften, vorab dem Kuróschio, eigentümlichen Kabbelungen (S. 445), welche der Seemann fürchtet, durch die Windtheorie keine Aufklärung finden; man könne an aufsteigendes Tiefenwasser, an Wirbelbildungen und manch anderes denken. Wenn wir erwägen, dass eine unterseeische Erhöhung oder Senke die Kontinuität des in grosse Tiefe hinabreichenden Bewegungsvorganges jäh unterbricht, so werden wir zu dem Wunsche gelangen müssen, es möchten die durch Unregelmässigkeiten der bezeichneten Art bekannten Stromstellen einer genauen Prüfung hinsichtlich der dort obwaltenden Tiefenverhältnisse unterzogen werden.

b) Küstengestalt. Eine ernste Untersuchung über den Einfluss der Grenzlinien eines Meeresbeckens auf die in ihm zirkulierenden Strömungen besitzen wir wiederum von Zöppritz [318], und P. Hoffmann [319] hat dessen theoretische Schlüsse am geographischen Beispiele näher ausgeführt. Wir erinnern uns (vgl. Fig. 101) eines besonders ausgezeicheten Falles von Stromteilung gegenüber dem brasilianischen Ostkap (San Roque); ähnlich, wenn auch vielleicht nicht gleich charakteristisch, wird die Teilung stets erfolgen müssen, wenn ein Strom annähernd senkrecht auf ein sich ihm vorlegendes Hindernis trifft. Schon G. Kirch-

hoff hatte [320] bewiesen, dass ein solcher Strom sich in zwei Halbströme von entgegengesetzter Richtung spalten muss, deren jeder der Wand parallel verläuft und die halbe Breite des vereinigten Stromes besitzt. Hoffmann hat auch den schiefen Stoss in Betracht gezogen, der natürlich in der Natur weit häufiger vorkommen wird; die Gesetze des Flüssigkeitsstosses sind übrigens noch keineswegs genau bekannt, denn während die Mehrzahl der Hydrauliker die Stosskraft dem Quadrate des Sinus des Einfallswinkels α proportional setzt, wie dies seit v. Langsdorff [321] üblich ist, will Heinemann [322], im Einverständnis mit anderen Fachmännern, die zweite Potenz durch die erste ersetzt wissen. Setzen wir allgemein die mte Potenz, unter m eine experimentell noch genauer zu ermittelnde Zahl verstanden, so wird, wenn der Druck des rechtwinklig auftreffenden Stromes die Einheit darstellt, der Druck auf die entgegenstehende Ebene, falls das Wasser nach beiden Seiten ausweichen kann, gleich $\sin^m \alpha$, wenn aber nur nach der einen Seite ein Abfluss ermöglicht ist, gleich $2 \sin^{m} \frac{1}{2}\alpha$ anzunehmen sein. Der Strom wird, wie auch die Betrachtung der Karte lehrt, vornehmlich nach der Seite des stumpfen Winkels ausweichen, doch gelangt eine gewisse Wassermenge immer auch in den Raum des spitzen Nebenwinkels hinein. Genau das Umgekehrte, wie bei der Spaltung, wird dann sich ergeben, wenn zwei Strömungen zu einem einzigen Strom zusammentreten. Ein Zustandekommen regelmässiger Stromfiguren, wie solche die Theorie fordert, wird allerdings für gewöhnlich nicht zu erwarten sein, weil erstlich geometrische Regelmässigkeit in

Fig. 105.



Wirklichkeit bei keinem Küstenverlaufe vorkommt, und weil zum zweiten, worauf Zöppritz viel Gewicht legt [323], die Ufer nicht senkrecht, sondern mehr oder weniger stark geböscht aus dem Meere aufsteigen. — Den Kirchhoffschen Experimenten über Teilströme reihen sich die höchst interessanten und nur ganz einfache Hilfsmittel in Gebrauch nehmenden Strömungsversuche an, welche Krümmel angestellt und beschrieben hat [324]. Wir greifen aus denselben namentlich einen heraus, welcher die Neerströmungen (S. 518) als eine unmittelbare Konsequenz der Küstenkonfiguration vor Augen führt. Ein Wassergefäss rechteckigen Querschnittes (Fig. 105) ist durch zwei hineingeschobene Körper a und b derart aptiert, dass die Oberfläche ein ungefähres Bild des Atlantischen Ozeans zwischen Brasilien und Westafrika gewährt. Luftströme, welche durch ein Gebläserohr über die Wasserfläche weg geleitet wurden, erzeugten zwei gezwungene Triftströmungen, deren Stromstrich durch die zwei derb gezeichneten Pfeile markiert ist. Man konnte durch eingestreute Schwimmkörper (S. 440) die Entstehung des nord- und südatlantischen Zirkulationsringes, vor allem aber die durch Kompensation gebildete Guinea-Strömung (S. 499) veranschaulichen; ein vom Modelle b der afrikanischen Küste scharf gegen a vorspringendes, in der Figur durch gestrichelte Schenkel angedeutetes Winkelfeld schloss die gegen b hin verlaufenden Ausgleichsbewegungen in sich. Auch konnte weiter konstatiert werden, dass an vorspringenden Festlandsküsten die Strömungsgeschwindigkeit stets eine besonders grosse ist. Man kann auch a priori für ein Meer, dessen Um-

randungsform und Windverhältnisse bekannt sind, die Stromsysteme konstruieren, wie dies Mohn [325] für die Meere im Norden Europas gethan hat, und wenn man über genügende Prämissen verfügte, werden Konstruktion und thatsächlicher Befund wenigstens in den grossen Zügen übereinstimmen müssen.

c) **Achsendrehung der Erde.** Es ward bewiesen (I, S. 239), dass der Deviationsimpuls, welcher einem horizontal bewegten Körper durch die Erdrotation in der ersten Zeiteinheit zu teil wird, gleich $c \sin \varphi$ ist, wo c eine von der Fortpflanzungsgeschwindigkeit abhängige Konstante, φ die geographische Breite bedeutet. Wenn somit eine Meeresströmung rasch fortschreitet und vom Aequator einigermassen entfernt ist, kann die auf Rechnung der Rotation zu setzende Stromablenkung sehr wohl merklich werden, wie dies an anderem Orte [326] in sachlichem Zusammenhange mit verwandten Vorkommnissen darzulegen versucht wurde (vgl. auch I, S. 341). Sehr entschieden ist für die Bedeutung dieses Faktors Mühry [327] eingetreten. Hoffmann setzt [328] die starke Rechtsschwenkung der Guinea-Strömung eben derselben Ursache auf Rechnung. Und wenn auch Krümmel [329] ganz zutreffend es für sehr schwierig hält, ausgeprägte Belege dieser Ablenkung aufzufinden, so haben wir doch schon vernommen, dass dieselbe bei der Konstruktion von Mohns Stromflächen (S. 517) immer beachtet sein will. Da, wo auffallende Rechtsabbiegungen auf der nördlichen, auffallende Linksabbiegungen auf der südlichen Halbkugel hervortreten, liegt es nahe, die Achsendrehung als mitbestimmendes Element in Betracht zu ziehen. Doch wird es kaum erforderlich sein, die Rechtsverlegung der Golfstromachse nahe bei der Florida-Strasse mit Witte [330] gleichfalls auf jene Kraftquelle zurückzuführen, weil das Vorhandensein des kühleren Küstenwassers für sich allein schon zur Erklärung hinreicht.

d) **Winde und Luftdruck.** Aus Pillsburys Untersuchungen (S. 500) folgt, dass im Wurzelgebiete des Golfstromes zugleich die Mondstellungen auf denselben einigen Einfluss üben, worüber wir von der Zukunft weitere Aufklärung erwarten müssen, und gleicherweise gibt der amerikanische Forscher an, dass der Luftdruck in der Florida-Strasse durch seine Variationen ungewöhnliche Stromänderungen verursache. Von Beehler [331] ist die hiemit angedeutete Frage wesentlich in dem Sinne bearbeitet worden, ob die Luftdruckverteilung hinlängliche Stützen für die Begründung der in §. 10 diskutierten Windtheorie gewähre, und diese Frage musste bejahend beantwortet werden, wie ja u. a. auch P. Hoffmann die unklar erscheinenden Strömungsverhältnisse im nördlichsten Pazifik relativ einfach als cyklonale Umkreisung eines über diesem Meeresteile mit seltener Beharrlichkeit lagernden barometrischen Minimums aufzufassen lehrte [332]. Darüber aber, ob jähe Luftdrucksprünge Störungen des Normalverlaufes einleiten, ob etwa eine gewisse Vermengung des Strömungs- und Seichesphänomenes (S. 457) eintreten kann, was nicht als unmöglich anzusehen ist, gebricht es uns noch an Erfahrungen. — So viel ist sicher, dass auch da, wo regelmässige Luftströmungen die Meeresströmungen im Gange erhalten, nicht erwartet werden darf, es müsse absoluter Parallelismus zwischen beiden Richtungen bestehen; gelegentlich können beide einen ziemlich grossen Winkel miteinander einschliessen. Im grossen und ganzen aber findet doch ziemliche Uebereinstimmung statt; das bekundet am besten der oben (S. 499) als wichtig bezeichnete Umstand, dass die Flaschenposten wesentlich die Wege gehen, welche man aus dem Studium der Isobarenkarten (S. 182) als die wahrscheinlichsten abstrahieren konnte.

e) **Interne Vorgänge.** Darüber, wie es im Inneren einer fortschreitenden Flüssigkeitsmasse aussieht, können wir uns nur auf Grund der Zöppritzschen Formeln (S. 523) ein Bild machen. Doch hat die neuere Physik gezeigt, dass wir damit den Sachverhalt noch keineswegs zu erschöpfen hoffen dürfen, und auch die Natur selber legt uns noch manches Rätsel vor, dessen endgültige Auflösung der gegenwärtige Stand unserer Kenntnisse noch nicht gestattet. Vielleicht würde es sich, um nur eines Punktes zu erwähnen, lohnen, die Gesetzmässigkeiten, welche P. Du Bois-Reymond für strömende Flüssigkeiten aufgedeckt hat [333], auch bei den Meeresströmungen aufzusuchen. Die Verbreiterung, welche an den bekanntesten unter diesen am augenfälligsten hervortritt, ist noch nicht ausreichend untersucht worden; sollte nicht etwa der von jenem Mathematiker gefundene Satz hier in Kraft treten, dass ein durch eine Flüssigkeitsmasse

gehender Strom immer gegen die Seite des grössten Trennungswiderstandes abgelenkt wird? Man sieht, es bleibt künftiger Forschung immer noch vielerlei vorbehalten.

Trotz alledem haben wir alle Ursache, uns der Errungenschaften zu freuen, welche wenigstens generell die Lösung eines der verwickelsten geophysikalischen Probleme ermöglicht haben. Wir wissen mit vollster Sicherheit: Die grossen Meeresströmungen sind teils direkte Windtriften, teils reine Ausgleichströme, und in beiden Fällen üben auf Lage, Mächtigkeit und Geschwindigkeit der translatorischen Bewegung zahlreiche sekundäre Faktoren eine gewisse Wirkung aus, als da sind Boden- und Küstengestalt, Erdrotation, Luftdruckschwankungen, konträre Winde und wohl auch noch anderweite Agentien. Thermale Strömungen sind stets zu unbedeutend, um irgend ins Gewicht zu fallen; Strömungen zur Herbeiführung eines Dichteausgleiches spielen sowohl in Randmeeren, wie auch namentlich als Bestandteile der grossen vertikalen Zirkulationen ihre nicht zu unterschätzende Rolle. Es gibt aber endlich auch Vertikalzirkulationen auf kleinem Raume, und mit deren Betrachtung soll gegenwärtiges Kapitel abschliessen.

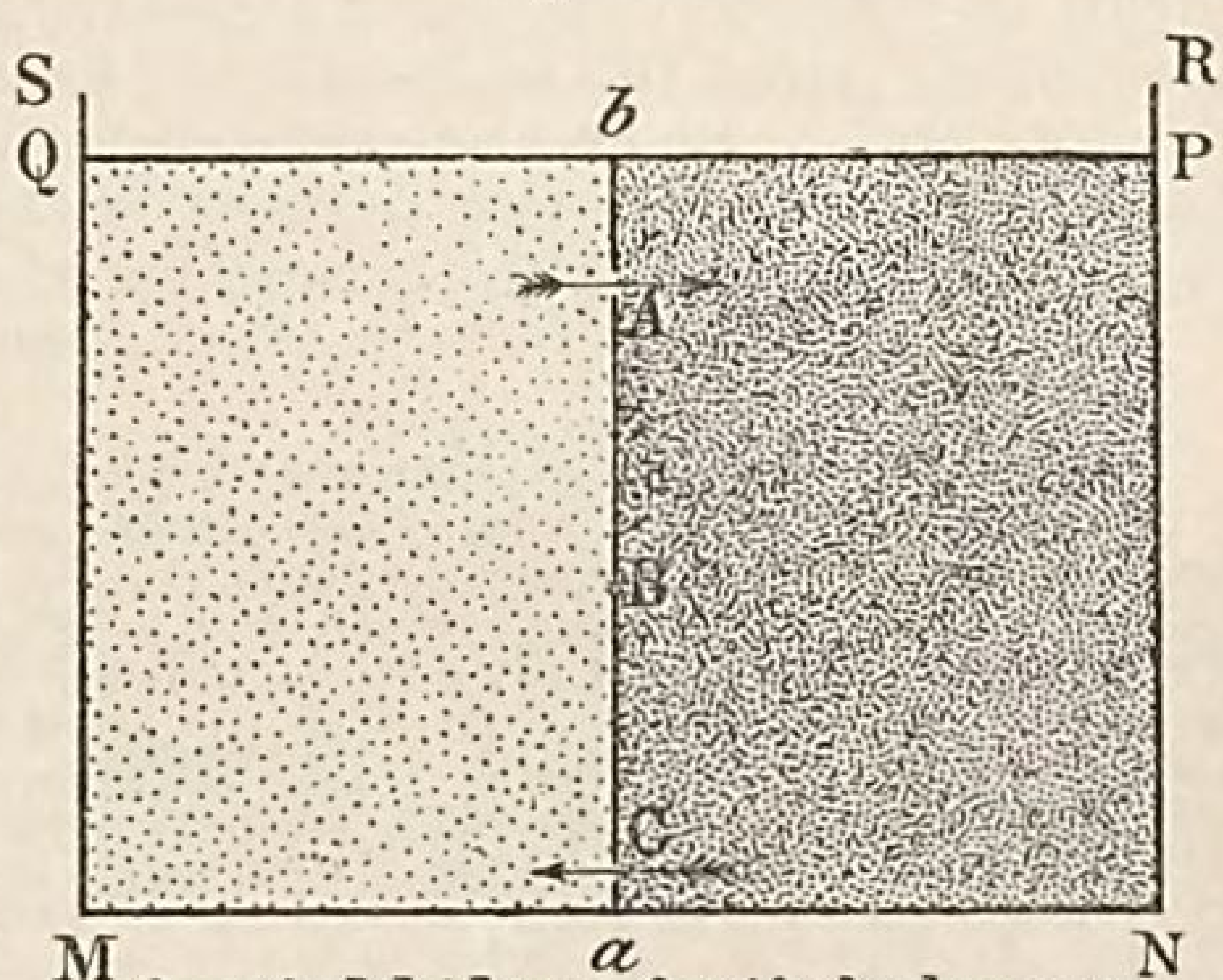
§. 12. **Erklärung der Strömungen in Meeresstrassen.** Von verschiedenen Sundströmungen ist schon oben (in §. 5) gesprochen worden; die Gibraltar-Strasse, die Dardanellen und der Bosporus, sowie die drei Zugangspforten zur Ostsee werden von solchen Strömungen durchzogen. Ueber die Ursache derselben dachte man (S. 493) bereits zu einer Zeit nach, als man von den ozeanischen Strömungen noch gar keine Kenntnis besass, und die Litteratur, welche allmählich über diesen Gegenstand erwuchs, ist eine stattliche zu nennen. Den besten Führer durch dieselbe gibt die schon mehrfach citierte Arbeit von Wisotzki ab.

Die altgriechische Ansicht, dass die Gewässer der östlichen mediterranen Nebenmeere sich infolge einer andauernden Erhöhung des Meeresspiegels einen Ausweg in den Archipelagus bahnen müssten, wirkte auch in der Folgezeit noch nach, und insbesondere war dies auch [334] die Meinung Lionardo da Vincis, der jene Strömungen recht gut kannte, während er über die Richtung des Oberstromes zwischen Atlantik und Mittelmeer irreführende Nachrichten gehabt haben muss. Bei Merula [335], der sich um die wissenschaftliche Begründung der Ozeanographie ein gewisses Verdienst erworben hat (S. 376), stossen wir auf dieselbe Anschauung, aber er war es auch, der einer schlimmen Neuerung die Bahn brach, welche dann längere Zeit nachwirken sollte. Ein unterirdischer Emissar sollte — auch Lionardo spielt bereits darauf an — das Wasser des Kaspischen Meeres in das Schwarze Meer führen, und dies sollte die Hauptursache der Niveauerhöhung in letzterem ausmachen. Es ist dieser Gedanke wohl nicht seinen eigenen Spekulationen entsprossen, sondern wir haben es hier mit einer Lesefrucht, einer Reminiszenz des klassischen Altertums zu thun, welche schon im Mittelalter manche Verwirrung angerichtet hatte. Kretschmer hat uns diese Sonderbarkeiten durch eine zusammenhängende Schilderung näher gebracht; er zeigt, wie exegetische Schwierigkeiten dazu drängten, eine unterirdische Verbindung der sogenannten Paradiesesflüsse anzunehmen [336]; wie dann (vgl. S. 376) die Quellen als Zubringer des in die Tiefen der Erde eingedrungenen Ozeanwassers aufgefasst wurden [337]; wie namentlich Albertus Magnus der Lehre vom Vorhandensein ungeheurer Schlünde („voragines vastae") im Erdinneren Vorschub leistete [338]. Was für das hellenische Karstgebiet eine sehr beschränkte Gültigkeit besitzen mochte, wurde nach Neumann-Partsch [339] sofort auf die ganze Erde ausgedehnt, und die physische Geographie bekam so ein Erklärungsmittel in die Hand, mit dessen Hilfe sie schliesslich alles und jedes leisten konnte; unterirdische und unter-

seeische Kanäle stellten jeden wünschenswert erscheinenden Zusammenhang zwischen weit auseinander liegenden Wasserbehältern her. In dieser Täuschung war teilweise noch Fournier [340] befangen, und auch die nicht völlig klaren Ausführungen des Varenius (S. 513) interpretiert Wisotzki [341] in diesem Sinne. Auch Froidmont [342] und sogar der doch sonst oft kritischere Riccioli [343] schliessen sich an, so dass wir uns nicht wundern dürfen, bei dem arbeitsamen, aber etwas sensationslüsternen A. Kircher [344] (I, S. 16) „gurgites vasti, spectabiles quidem et in maris superficie comparentes" anzutreffen, welche aus dem Kaspischen Meere nicht allein in den Pontus, sondern sogar in den Persischen Meerbusen führen. Selbst Kämpfer und Tournefort kamen gläubig auf die abenteuerliche Hypothese zurück [345], obwohl schon J. Vossius [346] mit dem ihn auszeichnenden Scharfblicke (S. 513) der Vermutung Raum gegeben hatte, „frustra a nonnullis fingi lacus subterraneas". Mit Fug durfte Wisotzki (a. a. O.) bemerken, selten werde man einer solchen Zählebigkeit wieder begegnen, wie sie diese „geophysikalische Hallucination" bethätigte, ohne welche nun einmal die Strömung in Bosporus und Hellespont nicht begreifbar zu sein schien.

Solchen Phantasmen gegenüber signalisierte es einen grossen Fortschritt, dass Bótero den Weg der rechnerischen Schätzung betrat [347]; die Wassermassen, welche ihm zufolge die grossen Flüsse ins Weltmeer senden, fand er so gross, dass sie in kürzerer Zeit die furchtbarste Ueberschwemmung hervorrufen müssten, und so musste man nach einer Gegenaktion suchen, welche den Ueberschuss wieder entfernen könnte. Halley erkannte als solche [348] die Verdunstung, und er war anscheinend der erste, welcher deren Betrag zu berechnen versuchte [349]. So roh die Berechnung auch ausfallen musste, so entzog sie doch sogleich den Kanaltheorien jeden Boden: Durch Verdunstung schienen dem Meere so enorme Wassermassen entzogen zu werden, dass man sich fragen musste, wie wohl die Natur für deren Ersatz sorge. Nun war die ein Stromgefälle bewirkende Niveauverschiedenheit erklärt, denn grössere und stärker durchwärmte Meere erlitten ja selbstredend auch eine namhaftere Schwächung durch die Evaporation. Da zudem um dieselbe Zeit die Existenz zweier zusammengehöriger, aber entgegengesetzt gerichteter Meeresströmungen in jenem Sunde zur Gewissheit ward, so konnte die Erörterung, in welche Popowitsch [350] und C. G. Schwarz [351] rührig eingriffen, eine erfolgreichere werden. Recht klar äusserte sich über die physikalische Notwendigkeit des zusammengehörigen Ober- und Unterstromes Waiz [352], dessen Abhandlung Wisotzki [353] unverdienter Vergessenheit entrissen hat. Zu Denen, welche die Realität „in unterschiedener Tiefe in entgegengesetzter Richtung laufender Ströme" sehr entschieden verfochten, gehörte Otto [354], und v. Hoffs [355] nahezu unbegreifliche Bekämpfung einer längst erwiesenen Thatsache konnte jetzt keinen Schaden mehr anrichten. Auch die theoretische Untersuchung machte Fortschritte. Während Laughton [356] sich nur zu gunsten einer oberflächlichen Hineinpressung ozeanischen Wassers in das Nebenmeer aussprach, blieben Maury [357] und Carpenter [358] in der Hauptsache bei einer Erklärung stehen, welche ursprünglich geistiges Eigentum des hochverdienten Grafen Marsigli ist [359]. Auch wir halten dafür, dass deren Grundgedanke sich den Verhältnissen am besten anpasst.

Fig. 106.



Spezifisch leichteres Spezifisch schwereres Wasser.

Der genannte Gelehrte machte den Vorgang durch einen Versuch anschaulich. MNRS (Fig. 106) ist ein parallelepipedisches, durch eine vertikale Scheidewand ab in zwei gleiche Hälften geteiltes Gefäss. Die linke Seite ist mit spezifisch leichterem, die rechte mit spezifisch schwererem Wasser gefüllt. Das Diaphragma hat drei Oeff-

nungen: eine oben bei A, hart an der Oberfläche PQ; eine zweite in der Mitte bei B, eine dritte ganz unten bei C. Wir nehmen an, die drei Oeffnungen seien zuerst geschlossen, und würden plötzlich geöffnet. Dann zeigt sich bald ein Oberstrom bei A, der aus der weniger dichten in die dichtere Flüssigkeit hineinführt, und ein Unterstrom bei C von entgegengesetzter Richtung, während in der Nähe von B Ruhe waltet. Dieses Experiment, welches mit Joules Methode der Bestimmung des Dichtemaximums von Wasser (S. 419) nahe verwandt ist, scheint trotz seiner Einfachheit den Schlüssel zur Erklärung der Sundströmungen zu liefern. Solche entstehen, wenn die Meeresstrasse zwei Meere von namhaft verschiedener Salinität verbindet, und sie sind lediglich Ausgleichströmungen, indem durch die Verschiedenheit der spezifischen Gewichte eine Vertikalzirkulation inauguriert wird.

Es wird allerdings von Wisotzki [360] eine nicht zu vernachlässigende Schwierigkeit hervorgehoben; es fehle hier die von vornherein vorhandene Niveaudifferenz. Wäre dem auch so, so wolle man doch bedenken, dass von dem Augenblicke an, da zwei vorher getrennte Meeresbecken (vgl. S. 405) miteinander in Verbindung traten, die unscheinbarste Veranlassung einen geringen Wasseraustausch einleiten muss, und ist erst mit einem solchen begonnen, so muss auch weiter die Doppelstrombewegung sich so lange fortsetzen, bis die Dichteunterschiede zu beiden Seiten des Verbindungsweges vollständig neutralisiert sind.

[1] Otto, Abriss einer Naturgeschichte des Meeres, I, Berlin 1792, S. 109 ff. — [2] Carpenter, On the general Oceanic Thermal Circulation, B. A. R., 1872, S. 48 ff.; On the Thermo-Dynamics of the general Oceanic Circulation, ebenda, 1874, S. 151; P. R. S., XVII, S. 186 ff.; XVIII, S. 453 ff.; XIX, S. 185 ff., 213 ff.; XXI, S. 289 ff. — [3] v. Boguslawski-Krümmel, Handbuch der Ozeanographie, II, Stuttgart 1887, S. 281 ff. — [4] A. v. Humboldt-Hauff, Reise in die Aequatorialgegenden des Neuen Kontinentes, Werke, V, 1, S. 32. — [5] Arago-Barral, Oeuvres complètes, IX. Paris-Leipzig 1857, S. 95 ff., 201 ff., 254 ff. — [6] Williams, On the Use of the Thermometer in Navigation, Philadelphia 1792. — [7] A. Erman, Beobachtungen auf einer Seereise um die Erde, A. K. R., III, S. 365 ff. — [8] Dumont d'Urville, Voyage de l'Astrolabe, météorologie, physique et hydrographie, Paris 1833, S. 64 ff. — [9] H. F. E. Lenz, Ueber das Wasser des Weltmeeres in verschiedenen Tiefen, mit Rücksicht auf Temperatur und Salzgehalt, A. P. C., XX, S. 73 ff. — [10] Ferrel-Waldo, The Motions of Fluids and Solids on the Earth's Surface, Washington 1882. — [11] Buff, Zur Physik der Erde, Braunschweig 1850, S. 178 ff. — [12] v. Boguslawski-Krümmel, II, S. 286. — [13] Ebenda, S. 287. — [14] Croll, On the Ocean Currents in Relation to the Distribution of Heat over the Globe, P. M., 1870, S. 81 ff.; On the physical Cause of Ocean-Currents, ebenda, 1870, S. 233 ff.; On Ocean-Currents, N., V, S. 201 ff., 502 ff.; VI, S. 240 ff. — [15] Hydrographie der Nordenskiöldschen Expedition nach Ostgrönland, P. G. M., XXX, S. 354, 471; V. A. F. S., Nr. 5. — [16] v. Boguslawski-Krümmel, II, S. 294. — [17] Colding, Extrait d'un mémoire sur les lois du courants dans la mer, N., V, S. 71 ff., 90 ff., 112 ff.; Översigt over Resultaterne af nogle Undersögelser over de ved Vindens Kraft fremdkaldte Ströminger i Havet, D. V. S. S., 1880, S. 249 ff. — [18] v. Boguslawski-Krümmel, II, S. 300 ff. — [19] Lentz, Flut und Ebbe und die Wirkung des Windes auf den Meeresspiegel, Hamburg 1879, S. 145 ff. — [20] v. Baer, Ueber das behauptete Seichterwerden des Asowschen Meeres, B. p. m. P., V, Sp. 89 ff. — [21] v. Boguslawski-Krümmel, II, S. 705 ff. — [22] Puff, Das kalte Auftriebswasser an der Ostseite des Nordatlantischen und der Westseite des Nordindischen Ozeans, Marburg i. H. 1890. — [23] Ebenda, S. 29. — [24] P. Hoffmann, Zur Mechanik der Meeresströmungen an der Oberfläche der Ozeane; eine Vergleichung der Theorie mit der Erfahrung, Berlin 1884, S. 69. — [25] v. Boguslawski-Krümmel, II, S. 309. — [26] Puff, a. a. O., S. 37. — [27] Ebenda, S. 56 ff. — [28] Ebenda, S. 58 ff. — [29] Ebenda, S. 71 ff. — [30] Ebenda, S. 92. — [31] Supan, Grundzüge der physischen Erdkunde, Leipzig 1896, S. 254. — [32] Murray, On the Effects of Wind on the Distribution of Temperature in the Sea- und Fresh-Water Lochs of the West of Scotland, Sc. G. M., IV, S. 345 ff. — [33] H. Berger, Geschichte der wissenschaftlichen Erdkunde der Griechen, III, Leipzig 1891, S. 63 ff.; IV, ebenda 1893, S. 15 ff. — [34] Strabon, Geographia, lib. I, cap. 55. — [35] v. Boguslawski-Krümmel, II, S. 327. — [36] Kazwini-Ethé, Kosmographie, I, Leipzig 1866, S. 226, 234. — [37] Yule, The Book of Ser Marco Polo, II, London 1875, S. 404. — [38] Wappaeus, De oceani fluminibus specimen; de momento ozeani fluminum in navigationes et physicas terrae rationes, Göttingen 1836, S. 8 ff. — [39] De Navarrete, Relation des quatre voyages entrepris par Christophe Colomb, traduit par Verneuil, II, Paris 1828, S. 17 ff. — [40] v. Humboldt, Kritische Untersuchungen über die historische Entwickelung der geographischen Kenntnisse der Neuen Welt, I, Berlin 1835, S. 262 ff. — [41] Wappaeus, a. a. O., S. 11. — [42] Hümmerich, Quellenuntersuchungen zur ersten Indienfahrt des Vasco da Gama, München 1897. — [43] Wappaeus, S. 21. — [44] J. G. Kohl, Geschichte des Golfstromes und seiner Erforschung von den ältesten Zeiten bis auf den grossen amerikanischen Bürgerkrieg, Bremen 1868. — [45] Ebenda, S. 31 ff. — [46] Ebenda, S. 39; Petrus Martyr d'Anghiera-Eden, The Decades of the Ocean, London 1577, dec. III, lib. 6. — [47] Kohl, a. a. O., S. 42 ff. — [48] Hakluyt, The principal Navigations, Voyages, Traffiques and Discoveries of the English Nation, Neuausgabe, IV, London 1810, S. 39 ff., 108 ff. — [49] S. Ruge, Geschichte des Zeitalters der Entdeckungen, Berlin 1881, S. 114, 502. — [50] Kohl, S. 53. — [51] Ebenda, S. 83. — [52] Varenius-Newton, Geographia generalis, Cambridge

1681, S. 139 ff. — [53] J. S. Vossius, De motu marium et ventorum liber, Haag 1663. — [54] A. Kircher, Mundus subterraneus, I, Amsterdam 1678, S. 134. — [55] Kohl, S. 106 ff.; B. Franklin, Letter containing sundry maritime Discoveries, T. A. P. S. P., II, S. 314 ff. — [56] Schöpf, Beyträge zur mineralogischen Kenntniss des östlichen Theils von Nordamerika und seiner Gebürge, Erlangen 1787, S. 23 ff. — [57] Rennell, Investigation of the Currents of the Atlantic Ocean, London 1832. — [58] P. Hoffmann, a. a. O., S. 1. — [59] G. Schott, Ueber Meeresströmungen, V. G. E. B., XX, S. 63 ff. — [60] v. Boguslawski-Krümmel, I, S. 175. — [61] Kohl, S. 108 ff.; T. A. P. S. P., III, S. 98 ff. — [62] Kohl, S. 113 ff.; Blagden, On the Heat of the Water in the Golf-Stream, P. T., 1781, S. 334 ff. — [63] Kohl, S. 121. — [64] G. Schott, Wissenschaftliche Ergebnisse einer Forschungsreise zur See 1891 und 1892, P. G. M., E. H., Nr. 109. — [65] v. Boguslawski-Krümmel, II, S. 394. — [66] Breusing, Steuermannskunst, Bremen 1890, S. 77 ff. — [67] Ebenda, S. 90 ff. — [68] Kohl, S. 25. — [69] v. Boguslawski-Krümmel, II, S. 378 ff. — [70] Aimé, Mémoire sur les courants de la mer, A. C. P., XII, S. 460 ff. — [71] Harlacher, Hydrometrische Apparate und Methoden, Leipzig 1881. — [72] Humboldt, a. a. O., S. 29. — [73] Kohl, S. 66. — [74] Ebenda, S. 90; P. T., 1674, S. 398. — [75] Kohl, S. 111. — [76] Irminger, Die Temperatur im nördlichen Atlantischen Meere und der Golfstrom, P. G. M., XVI, S. 245. — [77] Torell-Nordenskiöld-Passarge, Die schwedischen Expeditionen nach Spitzbergen und Bären-Eiland, ausgeführt in den Jahren 1861, 1864 und 1868, Jena 1869, S. 364. — [78] v. Boguslawski-Krümmel, II, S. 469 ff. — [79] B. A. Z., 1881, Nr. 261. — [80] Schirren, Die Wandersagen der Neuseeländer, Riga 1859; Peschel-v. Richthofen, Völkerkunde, Leipzig 1897, S. 371 ff. — [81] Torell-Nordenskiöld-Passarge, S. 452; Bessels, Die amerikanische Nordpolexpedition, Leipzig 1879, S. 281, 296; Nansen, In Nacht und Eis, II, Leipzig 1898, S. 234. — [82] Trift der Stücke eines Wraks in entgegengesetzter Richtung, A. H. m. M., XXII, S. 389. — [83] S. Ruge, a. a. O., S. 259. — [84] Kohl, S. 120 ff. — [85] H. K. W. Berghaus, Allgemeine Völker- und Länderkunde, I, Stuttgart 1837, S. 535 ff.; Physik. Atlas, Tab. 3. — [86] Kohl, S. 150; N. Mg., 1843, S. 184; ebenda, 1852, S. 569. — [87] Neumayer, Die Erforschung des Südpolargebietes, Z. G. E. B., III, S. 120 ff. — [88] Prinz A. von Monaco-Marenzeller, Die Erforschung der Meere, Wien 1891, S. 105 ff.; C. R., CI, S. 1029 ff.; CIV, S. 130 ff.; CV, S. 730 ff.; CVIII, S. 1151 ff.; CXIV, S. 264 ff. — [89] G. Schott, Die Flaschenposten der Deutschen Seewarte, auf Grund des bis Ende 1896 eingegangenen Materiales im Auftrage der Direktion bearbeitet, Hamburg 1897. — [90] Ebenda, S. 19. — [91] Ebenda, S. 25. — [92] Ebenda, S. 23. — [93] Gumprecht, Treibprodukte der Strömungen im Nordatlantischen Ozean, Z. E., III, S. 409 ff. — [94] Currents and Surface Temperatures of the North Atlantic Ocean, from the Aequator to lat. 40° N., published by the Authority of the Meteorological Committee, London 1872. — [95] Koldewey, Die äquatorialen Strömungen des Atlantischen Meeres, A. H. m. M., III, 133 ff. — [96] Krümmel, Die äquatorialen Meeresströmungen des Atlantischen Ozeans und das allgemeine System der Meereszirkulation, Leipzig 1877; Die atlantischen Meeresströmungen, Z. w. G., IV, S. 153 ff., 259 ff.; v. Boguslawski-Krümmel, II, S. 384 ff. — [97] Handbuch etc., I, S. 478 ff. — [98] P. Hoffmann, S. 28 ff., 51 ff. — [99] Kohl, S. 164 ff., 171 ff. — [100] De Guinea Aequatorial Stroomen, Amsterdam 1895. — [101] Krümmel, Die atlant. etc., S. 157. — [102] Wappaeus, S. 14. — [103] v. Krusenstern, Reise um die Welt in den Jahren 1803 bis 1806, I, Berlin 1812, S. 84. — [104] Pillsbury, The Gulf Stream, U. S. C. G. S., Washington 1892, Append. X. — [105] Lindenkohl, Der Golfstrom und seine Quellen, P. G. M., XLII, S. 25 ff. — [106] v. Boguslawski-Krümmel, II, S. 418. — [107] Supan, a. a. O., S. 243. — [108] Pilot Chart of the North Atlantic Ocean, August 1894, A. H. m. M., XXII, S. 336 ff. — [109] Petterson, Die Bedeutung des Golfstromes für das Klima von Nordeuropa, M. Z., XIII, S. 285 ff. — [110] Peschel-Leipold, Physische Erdkunde, II, Leipzig 1884, S. 67 ff. — [111] Jeffreys-Carpenter, The „Valorous"-Expedition, London 1876, S. 230 ff. — [112] Der Golfstrom nach den neuesten amerikanischen Forschungen, Z. S., IV, S. 271 ff. — [113] P. Hoffmann, S. 54. — [114] Wappaeus, S. 6; S. Ruge, S. 90. — [115] Th. Fischer, Studien über das Klima der Mittelmeerländer, P. G. M., E. H. Nr. 58, S. 25 ff. — [116] G. Schott, Die Strömungen im Atlantischen Ozean, A. H. m. M., XXV, S. 318 ff. — [117] Rennell, a. a. O., S. 250 ff. — [118] Wappaeus, S. 19. — [119] Die Rennellströmung im Biscayischen Meere, A. H. m. M., XXIII, S. 292 ff. — [120] G. Schott, Noch einmal der Rennellstrom, Gl., LXIX, S. 313 ff. — [121] Petermann, Der Golfstrom und der Standpunkt der thermometrischen Kenntnis des Atlantischen Ozeans und Landgebietes im Jahre 1870, Gotha 1870. — [122] Supan, S. 245. — [123] K. J., II, S. 228 ff. — [124] Pilot Chart etc., Juli 1895; K. J., VII, S. 241 ff. — [125] Janko, Der Golfstrom in der Nähe der Küste des europäischen Russlands und des Barents-Meeres, A. H. m. M., XXV, S. 172 ff. — [126] F. v. Wrangell, Reise längs der Nordküste von Sibirien und auf dem Eismeere in den Jahren 1820 bis 1824, II, Berlin 1839, S. 352 ff. — [127] Peschel-Leipoldt, II, S. 71. — [128] Die wissenschaftlichen Ergebnisse der Vega-Expedition, Leipzig s. a., S. 1 ff. — [129] Sartorius v. Waltershausen, Physisch-Geographische Skizze von Island, Göttingen 1847, S. 34 ff. — [130] Torell-Nordenskiöld-Passarge, S. 31. — [131] Kükenthal, Bericht über eine Reise nach Ostspitzbergen, P. G. M., XXXVI, S. 61 ff. — [132] Kohl, S. 163 ff. — [133] Bessels, S. 457, 486. — [134] Kohl, S. 182 ff. — [135] Torell-Nordenskiöld-Passarge, S. 25 ff. — [136] Hayes-J. E. A. Martin, Das offene Polarmeer; eine Entdeckungsreise nach dem Nordpol, Jena 1868, S. 49. — [137] Kohl, S. 170. — [138] Ebenda, S. 205 ff. — [139] G. Schott, Die Gewässer der Bank von Neu-Fundland und ihrer weiteren Umgebung, P. G. M., XLIII, S. 201 ff.; Beiträge zur Hydrographie des St. Lorenz-Golfes, A. H. m. M., XXV, S. 228. — [140] Ueber die Natur der Strömungen im St. Lorenz-Golfe, G. Z., II, S. 646 ff. — [141] Libbey, The Relations of the Gulf Stream and the Labrador Stream, London 1896. — [142] Nordenankar, Tal om Strömgångarne i Östersjön, Stockholm 1792. — [143] E. Suess, Das Antlitz der Erde, II, Prag-Wien-Leipzig, 1888, S. 14. — [144] Ackermann, Beiträge zur physischen Geographie der Ostsee, Hamburg 1883, S. 133 ff. — [145] v. Boguslawski-Krümmel, II, S. 305 ff. — [146] W. H. Smyth, The Mediterranean, London 1854, S. 161 ff. — [147] v. Boguslawski-Krümmel, II, S. 466 ff. — [148] Luksch, Vorläufiger Bericht über Lotungen und physikalische Beobachtungen im östlichen Mittelmeere im Jahre 1891, Wien 1891. — [149] J. Wolf-Luksch, Physikalische Untersuchungen im Adriatischen und Sizilianisch-Jonischen Meere, Wien 1881. — [150] K. E. v. Baer-Stieda, Ueber die homerischen Lokalitäten der Odyssee, Braunschweig 1878. — [151] H. Berger, III, S. 63 ff. — [152] v. Scala, Die Studien des Polybius, I, Stuttgart 1880, S. 189 ff. — [153] Polybius, Historia universalis, lib. IV, cap. 39. — [154] Wisotzki, Die Strömungen in den Meeresstrassen; ein Beitrag zur Geschichte der Erdkunde, A., LXV, S. 451. — [155] Procopius, Geschichte seiner Zeit, lib. IV, cap. 6. — [156] Gyllius, De Bosporo Thracio libri III, ed. Gronovius, Thesaurus Graecarum antiquitatum, VI, Leiden 1699. — [157] Bótero, Le Relationi del mare, Venedig 1599, S. 253 ff. — [158] Wisotzki, a. a. O., S. 489. — [159] Graf Marsigli, Osservazioni interno al Bosporo Tracio, Rom 1691. — [160] H. v. Moltke, Briefe über Zustände und Begebenheiten in der Türkei, Berlin-Posen-Bromberg 1841, S. 80 ff.; Günther, Moltkes geographische Leistungen, A., LXVI, S. 36 ff. — [161] Türkei und Griechenland; untere Donauländer und Kleinasien (Meyers Reisehandbücher), I, Leipzig-Wien 1892, S. 312 ff. — [162] Wieseler, De Cyaneis sive Symplegadibus,

Göttingen 1879. — [163] G. Schott, Das Aegäische Meer, Gl., LXVII, S. 313 ff. — [164] Puls, Die Oberflächentemperaturen und Strömungsverhältnisse des Aequatorialgürtels des Stillen Ozeans, Marburg i. H. 1895; A. A. D. S., XVIII, Nr. 1; Gl., LXIX, Nr. 19. — [165] Luyts, Introductio ad geographiam, Utrecht 1692, S. 43 ff. — [166] Wappaeus, S. 20 ff. — [167] Puls, S. 1. — [168] Duperrey, Charte du mouvement des eaux à la surface de la mer dans le Grand Océan austral, Paris 1831. — [169] Puls, S. 34 ff. — [170] v. Boguslawski-Krümmel, II, S. 501 ff. — [171] Ebenda, II, S. 505 ff. — [172] Griesebach, Die Vegetation der Erde nach ihrer klimatischen Anordnung, II, Leipzig 1884, S. 538. — [173] Peschel-Ruge, Geschichte der Erdkunde bis auf A. v. Humboldt und C. Ritter, München 1877, S. 437. — [174] Hettner, Das Klima von Chile und Westpatagonien, I, Bonn 1881, S. 37 ff. — [175] Ebenda, S. 48. — [176] Plate, Zur Kenntnis der Insel Juan Fernandez, V. G. E. B., XXIII, S. 226 ff. — [177] Th. Wolf, Bemerkungen über die Galápagos-Inseln, ebenda, VI, S. 245. — [178] Pezet, Der Gegenstrom „El Nino" an der Küste des nördlichen Peru, A. H. m. M., XXIII, S. 466. — [179] v. Boguslawski-Krümmel, II, S. 507. — [180] v. Boguslawski-Krümmel, II, S. 439. — [181] Handbuch etc., I, S. 524 ff. — [182] v. Boguslawski-Krümmel, II, S. 494; P. Hoffmann, S. 57. — [183] Wappaeus, S. 21. — [184] E. Kaempfer, Histoire du Japan, I, Haag 1729, S. 11 ff. — [185] Handbuch etc., I, S. 527. — [186] J. Wild, a. a. O., S. 66. — [187] G. Schott, Die Oberflächentemperaturen und Strömungen der ostasiatischen Gewässer. A. A. D. S., XIV, Nr. 3. — [188] K. J., II, S. 242 ff. — [189] F. Hirschberg, Von New York nach San Francisco, Leipzig 1888, S. 119. — [190] Dall, Hydrologie des Bering-Meeres, P. G. M., XXV, S. 361 ff., 443 ff. — [191] v. Boguslawski-Krümmel, II, S. 497 ff. — [192] Handbuch etc., I, S. 529. — [193] v. Schrenck, Die Stromverhältnisse im Ochotskischen und Japanischen Meere und in den zunächst angrenzenden Gewässern, B. p. m. P., XXI, Nr. 3. — [194] v. Boguslawski-Krümmel, II, S. 500 ff. — [195] Blink, Wind- und Meeresströmungen im Gebiete der kleinen Sunda-Inseln, B. G., I, S. 1 ff. — [196] Ebenda, S. 41. — [197] Ebenda, S. 53. — [198] v. Boguslawski-Krümmel, II, S. 468. — [199] Wappaeus, S. 36. — [200] v. Boguslawski-Krümmel, II, S. 471. — [201] Rennell, A Chart of the Bank and Currents of Cape Lagullas, London 1778. — [202] v. Krusenstern, a. a. O., III, S. 264. — [203] Toynbee, On the specific Gravity, Temperatures and Currents of the Seas passed through during Voyages from England to India, P. R. G. S., IX, S. 281 ff. — [204] v. Boguslawski-Krümmel, II, S. 475 ff. — [205] Ebenda, II, S. 479. — [206] Genthe, Der Persische Meerbusen, Geschichte und Morphologie, Marburg i. H., 1896. — [207] Handbuch etc., I, S. 509 ff. — [208] Ebenda, I, S. 508. — [209] Kropp, Beitrag zu den Segelanweisungen und zur physikalischen Geographie des Roten Meeres, Berlin 1872. — [210] Krümmel, Die Fortschritte der Ozeanographie 1895 und 1896, W. G. J., XIX, S. 213. — [211] J. Walter, Allgemeine Meereskunde, Leipzig 1893, S. 272 ff. — [212] Kobelt, Suezkanal und Mittelmeerfauna, N. M. G., 1887, II. — [213] C. Keller, Reisebilder aus Ostafrika und Madagaskar, Leipzig, S. 26 ff. — [214] Ruhle, Ueber den Austausch mittelmeerischer und erithräischer Tiere, N. O., XXXV, S. 230 ff. — [215] Lémasson, Régime des eaux dans le canale maritime de Suez et à ses embouchures, C. R., LXXXVII, S. 142, 155. — [216] Luksch, Vorläufiger Bericht über die physikalisch-ozeanographischen Untersuchungen im Roten Meere, S. A. W., M. N., I, 15. Mai 1896, S. 18 ff. — [217] E. Boetticher, Der Nicaragua-Kanal und seine geographische Bedeutung, A., LXVI, S. 721 ff., 741 ff. — [218] Grigorjew, Temperatur und Dichtigkeit des Wassers in dem Murmanischen und dem Weissen Meere (russisch), M. R. G. G., XIV, S. 327 ff. — [219] v. Middendorff, Der Golfstrom ostwärts vom Nordkap, P. G. M., XVII, S. 25 ff. — [220] Die wissenschaftlichen Ergebnisse der Vega-Expedition, S. 15. — [221] F. Nansen, a. a. O., I, S. 11 ff. — [222] Ebenda, I, S. 319. — [223] Ebenda, I, S. 422 ff. — [224] Ebenda, III, Leipzig 1898, S. 189. — [225] v. Boguslawski-Krümmel, II, S. 503 ff. — [226] Fricker, Antarktis (Bibliothek der Länderkunde), I, Berlin 1898, S. 203 ff. — [227] Ebenda, S. 206. — [228] Jungk, Ueber die Meeresströmungen, Berlin 1849. — [229] Pahde, Die theoretischen Ansichten über die Entstehung der Meeresströmungen, Krefeld 1888. — [230] Fournier, Hydrographie contenant la théorie et la pratique de toutes les parties de la navigation, Paris 1643, S. 478 ff. — [231] Libri, Histoire des sciences mathématiques en Italie, III, Paris 1840, S. 37 ff. — [232] Kepler, Opera Omnia, ed. Frisch, VI, Frankfurt a. M.-Erlangen 1866, S. 180. — [233] Pixis, Kepler als Geograph, München 1898 (M. G. St., VI), S. 72. — [234] J. Vossius, De motu marium et ventorum liber, Haag 1663, S. 9 ff. — [235] Wisotzki, a. a. O., S. 488. — [236] Ebenda, S. 471. — [237] Pahde, a. a. O., S. 11. — [238] v. Schilling, Die beständigen Strömungen in der Luft und im Meere, Berlin 1874; Zur Lehre von den Meeresströmungen, P. G. M., XX, S. 143 ff. — [239] Ed. Schmidt, Lehrbuch der mathematischen und physischen Geographie, II, Göttingen 1830, S. 137 ff. — [240] G. P. W., VI, 3, S. 1758 ff. — [241] W. Hertz, Betrachtungen über die kontinuierlichen Ströme, welche die Flut erregende Wirkung der Gestirne im Meere veranlassen muss, V. p. G. B., 5. Januar 1883. — [242] Mühry, Die Temperaturdifferenz als Ursache der latitudinalen ozeanischen Zirkulation, P. G. M., XX, S. 376. — [243] Blažek, Entwurf einer Theorie der Meeresströmungen, Prag 1876. — [244] Ebenda, S. 18. — [245] Zöppritz, Besprechung hiezu, G. G. A., 1878, S. 513 ff. — [246] Kant-F. W. Schubert, Schriften zur physischen Geographie, Leipzig 1839, S. 490. — [247] Jarz, Die Strömungen im Nordatlantischen Ozean, mit besonderer Rücksicht des Golfstromes, Leipzig 1877. — [248] Nicolaus Coppernicus aus Thorn: Ueber die Kreisbewegungen der Weltkörper, deutsch von Menzzer, Thorn 1879, S. 21. — [249] Jungk, a. a. O., S. 17. — [250] Beebe, The dense Water of the Ocean, its Rivers and its Currents, Battle Creek 1883. — [251] Humboldt, Kosmos, I, S. 229. — [252] Carpenter, Oceanic Circulation, N., XXII, S. 217 ff. — [253] E. Schmid, Lehrbuch der Meteorologie, Leipzig 1860, S. 641 ff. — [254] Baader, Ueber die tägliche successive Erwärmung der Ozeane durch die Sonne als Ursache der äquatorialen Meeresströmungen, B. S. N. G., 1875, S. 124. — [255] Ebenda, S. 146. — [256] Mühry, Ueber die Lehre von den Meeresströmungen, Göttingen 1869; P. G. M., XX, S. 375 ff. — [257] Croll, Climate and Time, S. 119 ff. — [258] Haughton-Emmerson Reynolds, Experiments to determine the „Drag" of Water upon Water of low Velocities, P. J. A., 23. Februar 1880. — [259] v. Boguslawski-Krümmel, II, S. 337. — [260] Das Problem der Meeresströmungen, G., XV, S. 32 ff. — [261] Maury-Böttger, Die physische Geographie des Meeres, Leipzig 1856, S. 143 ff. — [262] Pahde, S. 13. — [263] Mühry, Ueber etc., S. 2. — [264] Krümmel, Die äquatorialen Meeresströmungen, S. 36. — [265] Jungk, S. 12. — [266] Mohn, The North Ocean; its Depths Temperature and Currents, Christiania 1867. — [267] v. Boguslawski-Krümmel, II, S. 447 ff. — [268] Ebenda, II, S. 366. — [269] Ebenda, S. 453. — [270] Irminger, Die Strömungen und das Eistreiben bei Island, Z. a. E., XI, S. 191 ff. — [271] Ebenda, S. 459. — [272] Arago-Barral, a. a. O., IX, S. 53. — [273] Witte, Die Meeresströmungen, Pless 1878, S. 15 ff.; Zur Theorie der Meeresströmungen, Z. w. G., I, S. 51 ff. — [274] Colding, Bemerkung zu Dr. Wittes Theorie der Meeresströmungen, A. P. C., CXLII, S. 621 ff. — [275] Pahde, S. 12. — [276] v. Boguslawski-Krümmel, II, S. 358. — [277] Auerbach, Die theoretische Hydrodynamik, nach dem Gange ihrer Entwickelung in neuester Zeit in Kürze dargestellt, Braunschweig 1881, S. 15 ff. — [278] Christiansen-Joh. Müller-E. Wiedemann, Elemente der theoretischen Physik, Leipzig 1894, S. 136. — [279] v. Boguslawski-Krümmel, II, S. 466. — [280] Ebenda, II, S. 341. — [281] Maury,

Sailing Direktions and Explanations, I, Washington, 1852, S. 46 ff. — [282] S. Fritz, Vandsts Bevägelser og Varmens Fordeling i Atlanterhavet, Kopenhagen 1893. — [283] Varenius-Newton, S. 199. — [284] Supan, a. a. O., S. 249 ff. — [285] Ekman, On the general Causes of the Ocean-Currents, N. A. S. U., (3) X, 1. Heft. — [286] Zöppritz, Der gegenwärtige Standpunkt der Geophysik, W. G. J., VIII, S. 163. — [287] Pahde, S. 33. — [288] v. Boguslawski-Krümmel, II, S. 338. — [289] Varenius-Newton, S. 205 ff. — [290] Kohl, S. 110. — [291] Kant-F. W. Schubert, S. 493. — [292] Otto, a. a. O., II, S. 3. — [293] Rennell, a. a. O., S. 145 ff. — [294] G. P. W., VI, 3, S. 1757 ff. — [295] P. Hoffmann, S. 3. — [296] Arago-Barral, IX, S. 55. — [297] Eichler, Die Gezeiten, Z. R., V, S. 402. — [298] Findley, A Directory for the Navigation of the Pacific Ocean, II, London 1851, S. 1238. — [299] Zöppritz, Hydrodynamische Probleme in Beziehung zur Theorie der Meeresströmungen, A. P. C., (3) III, S. 582 ff.; Zur Theorie der Meeresströmungen, G., XIV, S. 515 ff. — [300] Christiansen-Joh. Müller-E. Wiedemann, a. a. O., S. 138 ff. — [301] v. Helmholtz, Ueber Integrale der hydrodynamischen Gleichungen, welche den Wirbelbewegungen entsprechen, J. r. a. M., LV, S. 25 ff. — [302] Oersted, Undersögelse over Vandets Sammentrykkelighed, O. D. V. S. F., 1817—18. — [303] Zöppritz, Hydrodynamische Probleme etc., S. 588. — [304] G. Newton-Wolfers, Mathematische Prinzipien der Naturlehre, Berlin 1872, S. 368. — [305] Rosenberger, Die Geschichte der Physik in Grundzügen, III, Braunschweig 1887—90, S. 452 ff. — [306] Ebenda, S. 565. — [307] Stokes, On the Effects of the Internal Friction of Fluids on the Motion of Pendulums, C. T., IX, S. [8] ff. — [308] Poisseuille, Sur le mouvement des liquide de forme différente dans les tubes de très-petit diamètre, A. C. P., (3) XXI, S. 76 ff. — [309] Hagenbach-Bischoff, Bestimmung der Zähigkeit einer Flüssigkeit durch den Ausfluss aus Röhren, A. P. C., CIX, S. 358 ff. — [310] O. E. Meyer, Zur Theorie der inneren Reibung, J. r. a. M., LXXVIII, S. 130 ff.; LXXX, S. 315. — [311] v. Obermayer, Versuche zur Bestimmung der Abhängigkeit der inneren Reibung der Gase von der Temperatur, T. 48. N. V., S. 95. — [312] Christiansen-Joh. Müller-E. Wiedemann, S. 154. — [313] O. E. Meyer, Kinetische Theorie der Gase, Breslau 1877, S. 147. — [314] Zöppritz, Zur Theorie etc., S. 518. — [315] J. Walther, S. 117. — [316] Otto, II, S. 2. — [317] v. Boguslawski-Krümmel, II, S. 351. — [318] Zöppritz, Hydrodynamische Probleme etc., A. P. C., (2) VI, S. 599 ff.; Ueber Stromteilung und Stromzusammensetzung, G., XV, S. 340 ff. — [319] P. Hoffmann, S. 6 ff. — [320] G. Kirchhoff, Zur Theorie freier Flüssigkeitsstrahlen, J. r. a. M., LXX, S. 289 ff. — [321] v. Langsdorff, Ausführliches System der Maschinenkunde, I, Heidelberg 1826, S. 245 ff.; Lehrbuch der Hydraulik, mit beständiger Rücksicht auf die Erfahrung, Altenburg 1794, Kap. 14. — [322] Heinemann, Die Rationaltheorie der Bewegung des Wassers als Lehrbuch der Hydrodynamik und für den praktischen Gebrauch des Hydrotekten auf vollständig neuen Grundlagen bearbeitet, Hagen 1872, S. 248. — [323] Zöppritz, Ueber Stromteilung etc., S. 343. — [324] v. Boguslawski-Krümmel, II, S. 355 ff. — [325] Mohn, Die Strömungen des europäischen Nordmeeres, P. G. M., E. H., Nr. 79. — [326] Günther, Die sichtbaren und fühlbaren Wirkungen der Erdrotation, H., I, S. 363 ff. — [327] Mühry, Zur Lehre von den Meeresströmungen, P. G. M., XX, S. 372. — [328] P. Hoffmann, S. 33. — [329] v. Boguslawski-Krümmel, II, S. 365. — [330] Witte, Zur Theorie etc., S. 54. — [331] Beehler, Richtung und Stärke der Meeresströmungen in ihrer Abhängigkeit vom Luftdruck, G., XXX, S. 154 ff. — [332] P. Hoffmann, S. 85. — [333] P. Du Bois-Reymond, Untersuchungen über die Flüssigkeiten und über deren innere Strömungserscheinungen, Berlin 1854. — [334] Wisotzki, a. a. O., S. 451 ff. — [335] Merula, Cosmographiae generalis libri, III, Amsterdam 1621, S. 125. — [336] Kretschmer, Die physische Erdkunde im christlichen Mittelalter, Wien-Olmütz 1889 (P. G. A., IV, 1), S. 86 ff. — [337] Ebenda, S. 91 ff. — [338] Ebenda, S. 99 ff. — [339] C. Neumann-Partsch, Physikalische Geographie von Griechenland, mit besonderer Rücksicht auf das Altertum, Breslau 1885, S. 254 ff. — [340] Fournier, a. a. O., S. 338 ff. — [341] Wisotzki, S. 503. — [342] Fromondus, Meteorologicorum libri VI, London 1653, S. 330. — [343] Riccioli, Geographia et hydrographia reformata, Bologna 1661, fol. 450. — [344] A. Kircher, Mundus subterraneus, in quo universae naturae majestas et divitiae demonstrantur, I, Amsterdam 1664, S. 78 ff., S. 122 ff. — [345] Wisotzki, S. 518 ff. — [346] J. Vossius, De Nili Origine, Haag 1666, S. 1 ff. — [347] Bótero, a. a. O., S. 247. — [348] Halley, An Estimate of the Quantity of Vapour raised out of the Sea by the Warmth of the Sun, P. T., 1687, S. 366 ff. — [349] Wisotzki, S. 520. — [350] Popowitsch, Untersuchungen vom Meere, Leipzig 1750. — [351] C. G. Schwarz, De columnis Herculis, Altdorf 1749. — [352] Waiz, Untersuchung der Ursache, warum das Wasser im Atlantischen Meere allezeit in das Mittelländische Meer durch die Enge bei Gibraltar hineinströmt, A. S. A., K., XVII, S. 28 ff. — [353] Wisotzki, S. 554. — [354] Otto, a. a. O., II, S. 21. — [355] v. Hoff, Geschichte der natürlichen Veränderungen der Erdoberfläche, I, Gotha 1822, S. 154 ff. — [356] Laugthon, Ocean Currents, J. R. U. J., 1872, S. 672 ff. — [357] Maury-Böttger, S. 114 ff. — [358] Carpenter, Further Inquiries on Oceanic Circulation, P. G. S. L., XVIII, S. 302 ff.; On the Undercurrents of the Bosporus and Dardanelles, B. A. R., 1853, S. 71 ff. — [359] Graf Marsigli, Osservaz. etc.; Wisotzki, S. 539 ff. — [360] Wisotzki, S. 540.

Kapitel VI.

Das Eis des Meeres.

§. 1. **Fluss-, Gletscher- und Meereis.** In denjenigen Meeren, welche wir schlechthin Polar- oder Eismeere nennen, und in den angrenzenden Teilen des Atlantischen, Indischen und Stillen Ozeans können die dort schwimmend vorgefundenen Eismassen einen dreifachen Ursprung haben [1]. Gelegentlich, aber nur spärlich, zeigt sich Süsswassereis, welches sich auf Binnenseen, Flüssen und

Bächen gebildet hatte und ins Meer hinausgetrieben war; weit häufiger sind die schwimmenden Eistrümmer Gletscherfragmente. Die ausgedehnten Eisfelder, welche zumal den arktischen Meeren ihr besonderes Gepräge verleihen, sind der Hauptsache nach gefrorenes Salzwassereis.

Das Süsswassereis tritt ausnahmslos in dünnen Tafeln auf und ist hell, farblos, hart und spröde, so dass es durch Druck und Zug gleichmässig leicht zerbrochen werden kann. Die physikalischen Eigenschaften des Gletschereises werden in Kap. III der achten Abteilung den Gegenstand besonderer Betrachtung bilden; an dieser Stelle interessiert uns ausschliesslich das Vorkommen der das Landschaftsbild der kalten Meeresregionen bestimmenden Eisberge, deren Zusammensetzung eben die der Gletscher ist. Besonders wichtig sind jedoch die Eisgebilde, welche durch Kongelation des eigentlichen Meerwassers entstanden sind, und mit ihnen wird es deshalb dieses Kapitel vorwiegend zu thun haben.

Die Möglichkeit, dass aus Salzwasser Eis werden könne, ist in früherer Zeit bestritten worden. Es ist nämlich eine Thatsache, dass salziges Wasser, nachdem es fest geworden, der Salzbestandteile so gut wie ganz entbehrt. Darum ist die Meinung Derer, welche alles Eis des Meeres als aus süssem Wasser entstanden ansprechen, wohl zu verstehen, und es hat ziemlich lange gedauert, bis eine richtigere Auffassung des Eisbildungsprozesses sich Bahn brach.

Alle einschlägigen Nachrichten hat Horner gesammelt [2]. Frobisher und Davis hatten sich bereits auf ihren Nordfahrten davon überzeugt, dass man durch Schmelzen mariner Eisblöcke gutes Trinkwasser erhalte [3]; diese Thatsache stand also fest, und da es als eine Art Glaubenssatz behandelt wurde, dass süsses Wasser auch nur von Süsswassereis herkommen könne, so lag die Notwendigkeit vor, ausgedehnte Festländer anzunehmen, an deren Küsten und in deren Flussmündungen dieses Eis sich gebildet haben könnte. Was Crantz [4] mehr gelegentlich angedeutet hatte, nahm bei Buffon [5] schon eine sehr apodiktische Form an, und die Versuche Lomonossows [6] und Parrots [7] schienen auch der Annahme, dass ausgedehntere Eismassen niemals im freien Meere entstanden sein könnten, eine gewisse Stütze zu verleihen. Diese Experimente scheinen an dem Uebelstande gelitten zu haben, dass man das Salzwasser, über dessen Festwerden man sich unterrichten wollte, unverzüglich allzu niedrigen Temperaturen aussetzte, so dass das den allmählich sich vollziehenden Temperaturwechseln der Natur entsprechende Austreten des Salzes aus der Flüssigkeit unterblieb. Diese Anschauung, welche selbst durch Cooks und Forsters Mitteilungen eher bestärkt als beseitigt wurde [8], und gegen welche nur ab und zu eine auf Autopsie beruhende gegenteilige Behauptung in die Wagschale fiel, kam nicht ins XIX. Jahrhundert herüber, weil die gegenteiligen Wahrnehmungen sich allzusehr häuften. Eine solche aus viel früherer Zeit führt H. Weber [9] von dem trefflichen Barents an [10]: „Es fror zwei Finger dick im Salzwasser der See, und es war ausserordentlich kalt.“

Als man daran ging, diese Irrlehre zu widerlegen, suchte man besonders nach glaubwürdigen Nachrichten über das Zugefrieren grösserer Meeresräume; denn wenn solches sich bestätigte, so war der Theorie, dass es Meereis niemals ohne festländischen Stützpunkt geben könne, jeder Boden entzogen. Nach dieser Seite hin hat sich besonders Otto angelegentlich umgethan [11]. Es gelang ihm auch, mehrere beglaubigte Fälle dieser Art zusammenzutragen: 1399, 1423, 1459, 1709, 1740 war die Ostsee mit festestem Eise bedeckt; 860 und 1234 soll ein Gleiches für das Mittelländische Meer stattgehabt haben; 1408 bildete sich eine feste Eisbrücke über Kattegat und Skager Rak; 1631 gefror die ganze Hudsonsbay. Nach Ottos Ansicht [12] wusste auch schon Altertum und Mittelalter von der Möglichkeit des Gefrierens der Nordmeere; er verweist auf die hierauf bezüglichen Angaben Forsters [13], und wirklich sind diese nicht nur zutreffend, sondern es würde auch der Vermehrung der von ihm beigebrachten Nachweise nichts entgegenstehen. Der Germanist Müllenhoff ist allen den Andeutungen, welche über das „geronnene Meer“ (θάλασσα πεπηγυῖα; mare concretum) in antiker und mittel-

alterlicher Litteratur vorkommen, besonders eifrig nachgegangen [14]. Das Lied „Merigarto“, welches Hoffmann v. Fallersleben auffand und publizierte [15], spricht, wie auch andere Sagen es thun, vom „levermere“, in welchem die Fahrzeuge stecken blieben, und welches zugleich durch Nebel und Finsternis einen unheimlichen Eindruck erweckte. Zweifellos stammten die Nachrichten über das geronnene Dunkelmeer zunächst aus dem Altertum; Lesefrüchte aus Plinius, Tacitus, Solinus, Isidorus Hispalensis, die wohl selbst wieder nach H. Berger [16] und Weber [17] auf Pytheas den Massalioten (I, S. 5) zurückweisen, hatten sich mit mysteriösen Erzählungen über die Schrecken der Nordmeere, wie solche z. B. bei Adam von Bremen eingelaufen waren [18], zu einem unentwirrbaren Ganzen vermengt. „Die Vorstellung dieses unbeschiffbaren, starren und finsteren Meeres“, meint Weinhold [19], „war im XI. und in den folgenden Jahrhunderten bei uns so lebendig, dass bei Schilderung der abenteuerlichen Fahrt des Herzogs Ernst“ — vgl. I, S. 513 — „im Orient auch das Lebermeer nicht fehlen durfte. Es ist aber keine ursprünglich deutsche Erfindung, sondern aus gelehrten Quellen, hauptsächlich dem viel gelesenen Solin, jener Zeit zugekommen.“ Das Wort „libberig“, einen Zwischenzustand zwischen starr und flüssig kennzeichnend, kommt heute noch in der Mundart des unteren Wesergebietes vor [20]. Offenbar war eben doch die Thatsache des von Eis erfüllten Meeres bekannt genug, um die unbestimmten Aeusserungen der alten Schriftsteller in ganz bestimmtem Sinne zu deuten.

Im Verlaufe des XVIII. Jahrhunderts bildete sich, wie H. Weber [21] des näheren ausführt, die Meinung heraus, dass die Nachbarschaft des Poles die eigentliche Heimat der die nördlichen Meere bedeckenden Eismassen sei. Die grundsätzliche Scheidung dieses Eises in Eisberge und Treibeis datiert ebenfalls von jener Zeit, und dieselbe hat sich als berechtigt erwiesen. Wir werden uns derselben ebenfalls anbequemen und beginnen mit der Besprechung der Eisberge, die aus den verschiedensten Gründen für die physische Erdkunde wichtig sind, wenn auch die Quantität des in ihnen angesammelten Eises nur einen kleinen Bruchteil desjenigen ausmacht, welches wir als Treibeis kennen.

§. 2. **Die Eisberge der Arktis.** In morphographischer Hinsicht zeigen sich Unterschiede zwischen den Eisbergen der nordischen und der südlichen Meere, so dass es geraten erscheint, beide Gattungen gesondert zu behandeln. Festzuhalten ist beidemal daran: Was wir Eisberge nennen, sind Bruchstücke festländischer, nicht durch Gefrieren von Salzwasser zu stande gekommener Eisansammlungen. Ob man in jedem Falle von Gletschern zu sprechen berechtigt ist, das möge hier dahingestellt bleiben; in Kap. III der achten Abteilung wird dargethan werden, dass die Gletscher unserer Hochgebirge doch vielfach etwas anderes sind, als die kontinentalen Eismeere der Polarkalotten. Diese Unterscheidung vorausgesetzt, mag immerhin von einem Eisberge gesagt werden, er bestehe aus Gletschereis (korrekter Festlandeis). Die nächste sich erhebende Frage ist dann die, wie sich wohl von der zusammenhängenden Eismasse ein Teil losgelöst haben kann, um sodann im Meere fortzuschwimmen.

Früher that man diese Frage kurz und einfach mit der Antwort ab: Der Gletscher hat gekalbt. So bezeichnete man das Abbrechen der Gletscherzunge, welche bis in die Nähe des Meeres fortgeschoben war und nun, nachdem sie an einem steilen Küstenfelsen angelangt ist, im Fortschreiten bleibt, bis, da kein Untergrund mehr vorhanden ist, die Schwerkraft über die Kohäsion des Eises die Oberhand gewinnt und den überhängenden Teil der Zunge zum Losbrechen nötigt. Es soll nicht geleugnet werden, dass dergleichen wirklich vorkommen kann. Egede, der über eine reiche Erfahrung gebot, berichtet [22], dass solche Ablösungen unter starken Detonationen eintreten, und auch in einem neueren vertrauenswürdigen Werke [23] wird das Kalben eines Gletschers nach Autopsie geschildert. Auch ist ja schliesslich der furchtbare Gletschersturz vom Altels, der uns am oben bezeichneten Orte wieder begegnen wird, in die gleiche Kategorie zu setzen. Th. v. Bayer berichtet darüber auf Grund eigener Beobachtung: hoch

oben auf dem in ein Fjordthal mündenden Gletscher brachen mächtige Eisklötze los, stürzten mit dem Geräusche eines Wasserfalles in das aufschäumende Wasser und trieben auf diesem davon. Die Regel ist dies jedoch nicht; diese besteht vielmehr darin, dass eine Gletscherzunge ins Meer hinein vordringt, wo dann endlich, da das Wasser schwerer ist, als das Inlandeis, der Auftrieb einen Abbruch bewirkt. In dieser auch physikalisch einleuchtenden Erklärung der Entstehung der Eisberge stimmen zwei der gewiegtesten Kenner des hohen Nordens, Weyprecht [24] und A. E. v. Nordenskiöld [25], überein; nur, so fügt letzterer bei, hat man selten Gelegenheit, den Vorgang mitanzusehen, und Beobachtungen darüber liegen nur von Nilsson und Helland [26] vor. Der Gletscher bewegt sich auf dem seichten Meeresgrunde so lange fort, bis die Gewichte des eintauchenden Eises und des von ihm verdrängten Wassers einander gleich geworden sind, und dann macht sich der Druck nach oben geltend, gegen welchen das Gletschereis zwar nicht so spröde, wie gegen Zug ist, der aber, einseitig wirkend, das Gefüge der Zunge lösen und das Abbrechen von deren vorderstem Teile bewirken muss. Sehr gründlich hat die Bedingungen, unter denen die Abtrennung stattfindet, v. Drygalski untersucht, indem er sich zugleich auf die Feststellungen zweier dänischer Gelehrter, Steenstrup und R. Hammer, bezog [27]. Wichtig ist, dass die Gletscherzunge nicht gerade dann den Zusammenhang verliert, wenn sie sich vom Meeresgrunde trennt, sondern erst später, „nachdem die Gletscherzunge schon eine Strecke weit über dem Boden im Wasser schwebend vorgeschoben ist“. Darüber, ob die Eisberge an Höhe stets unter dem Gletscherrande verbleiben, ist trotz vieler Erörterungen noch keine vollständige Gewissheit erzielt. Rinks Ansicht [28] weicht in dieser Hinsicht von derjenigen Steenstrups und v. Drygalskis ab, welch letzterer scharf betont [29], dass er niemals einen Eisberg angetroffen habe, der höher als der Gletscherrand gewesen wäre, von dem er sich abgetrennt hatte, und an welchem die Bruchfläche noch zu erkennen war. — Wertvolle Aufschlüsse über den Abtrennungsprozess findet der Leser auch im 14. Kapitel des von E. v. Drygalski herausgegebenen Grönlandwerkes (Grönland-Expedition der Gesellschaft der Erdkunde zu Berlin 1891—1893, I, Berlin 1897). Je weniger tief das Meer ist, um so kleiner werden diese Gletschertrümmer ausfallen, wie dies z. B. in den Umgebungen von Novaja Semlja und Südspitzbergen der Fall ist. Die grössten Eisberge werden in den tiefsten Meeren beobachtet. Unregelmässigkeiten in der Fortbewegung des Gletschers können nach v. Nordenskiöld [30] gelegentlich auch noch in einiger Entfernung vom Strande die Abtrennung solcher Gletscherstücke zur Folge haben, die dann eben nicht als Eisberge fortschwimmen, sondern als isolierte Eispfeiler stehen bleiben, und bei etwaigem Ansteigen des Wassers werden auch diese Fragmente den Wellen überantwortet.

Die Eisberge zeichnen sich zumeist durch bizarre Formen aus, und zwar steigert sich ihre Zerrissenheit um so mehr, je länger sie schon im Wasser umhergetrieben sind, je länger mithin umwandelnde und zerstörende Kräfte aller Art sich an ihnen zu bethätigen Gelegenheit gefunden haben. Der aus dem Wasser hervorragende Teil ist natürlich gering neben jenem, der sich unter Wasser befindet. Es geschieht wohl, dass ein Eisberg an Land getrieben wird, strandet, und dann, falls diese Verankerung noch im kalten Klima erfolgte, jahrelang erhalten bleibt; Regel dagegen ist es, dass die Eisberge von den arktischen Meeresströmungen (S. 511) nach Süden hinabgeflösst werden und sich in den wärmeren Meeren allmählich auflösen.

„Der grösste Eisberg, den Scoresby an der Küste Grönlands sah, hatte etwa 3000 Fuss im Umfange, eine viereckige Gestalt, eine regelmässige Oberfläche, die etwa 20 Fuss über den Wasserspiegel erhoben war, und bestand aus der dichtesten Art von Eis; er mochte noch etwa 160 Fuss unter die Wasserfläche hinabgehen und ungefähr 2000000 Tonnen (jede zu 20 Zentner) wiegen“ [31]. Hayes schätzte sogar das Gewicht eines ungeheuren, an der grönländischen Küste gestrandeten Eisberges auf das Tausendfache des obigen [32]. Solche Massen vermögen der Vernichtung natürlich lange Zeit zu trotzen. Diese arbeitet, wie erwähnt, unter mannigfaltigen Formen. Warme Lufttemperatur und Regen bedingen oberflächliche Abschmelzungsprozesse; die Meeresbrandung schlägt von der

auf dem Wasser ruhenden Basis unaufhörlich grössere und kleinere Stücke ab; weit intensiver jedoch vollendet die Sprengwirkung des gefrierenden Wassers ihr Zerstörungswerk. Seitdem zuerst Boyle durch Versuche festgestellt hatte [33], dass Süsswasser (vgl. S. 419) sein Dichtemaximum bei $+4^0$ C. habe, und dass es bei weiterem Sinken der Temperatur sich mit grosser Energie ausdehne, sind viele Untersuchungen über dieses anomale Verhalten einer Flüssigkeit angestellt worden. Ueber die älteren, an denen sich insbesondere die florentinische Accademia del Cimento eifrig beteiligte [34], berichtet ausführlich Horner [35]; neuere, umfassende Experimente sind diejenigen von Hagenbach-Bischof [36]. Dieser Physiker liess, was allerdings auch vor ihm schon geschehen war, eiserne Hohlkugeln durch die Expansivkraft des sich abkühlenden Wassers zersprengen, und es trat dann das Eis aus der durch das Fortschleudern der Verschlussschraube entstandenen Oeffnung in eigenartig zerfasertem Strahle hervor, so wie es Fig. 107 zur Anschauung zu bringen sucht. Man kann sich leicht denken, dass die zahllosen Hohlräume, welche das zumeist poröse, schwammige Inlandeis aufweist, sich nach jedem tropfbaren Niederschlage mit flüssigem Wasser füllen, welches dann gefriert, und so bildet jede Pore, jedes kleine Loch der Oberfläche ein lokales Sprengzentrum. So wird man sich nicht wundern, zu vernehmen, dass viele Eisberge einen geradezu abenteuerlichen Eindruck machen, und dass die Phantasie der Seeleute Türme, Burgen, Denkmäler, fremdartige Tiergestalten in den Auszackungen dieser schwimmenden Eisungetüme erkennt. Die Angaben Scoresbys [37] gewähren nach dieser Seite hin willkommenen Aufschluss, und was er anführt, wird durch eine Fülle älterer und neuerer Reisebeschreibungen bestätigt. Dazu kommt noch, dass die Menge der gleichzeitig sichtbaren Eisberge oft eine ungemein grosse ist. In einem Falle [38] erblickte man unter verhältnismässig niedriger Breite ($44^1/_2{}^0$ bei $49^1/_2{}^0$ w. L.) vom Mastkorbe aus nicht weniger denn 55 grosse Eisberge, während selbst vom Verdecke aus noch deren 22 gesehen wurden. Genaue Angaben über die Maximalhöhe, mit welcher solche Giganten sich über das Meeresniveau erheben, wären immer noch erwünscht.

Fig. 107.



Wenn den Eisbergen eine regelmässige stereometrische Gestalt eignete, wäre es leicht, aus deren sichtbarer Höhe auf Grund der bekannten spezifischen Gewichte (s_1 und s_2) von Eis und Salzwasser die Eintauchungstiefe zu berechnen. Im einfachsten Falle, wenn nämlich der schwimmende Block ein rechtwinkeliges Parallelepipedum wäre, soll a der sichtbare, x der unsichtbare Teil der Gesamthöhe sein; unter f vorübergehend den Inhalt der Basisfläche verstanden, hat man dann nach dem archimedischen Prinzipe

$$(a + x) f s_1 = f x s_2; \quad x = a s_1 : (s_2 - s_1).$$

Wäre also das Verhältnis $s_1 : s_2 = 9 : 10$, so wäre die Eintauchungstiefe das Neunfache der sichtbaren Höhe. Die Dichte des Meerwassers ist früher (Kap. III, §. 7) besprochen worden; diejenige des Eises ist von verschiedenen Forschern bestimmt worden, und zwar gilt die Bestimmung von Placidus Heinrich [39], der zufolge s_1 rund $= 0{,}91$ gesetzt werden kann, für eine der zuverlässigsten, da sie zumal auch mit derjenigen Bunsens ($s_1 = 0{,}9167$) wesentlich übereinstimmt. Nimmt man als Mittelwert der Dichte ozeanischen Wassers $s_2 = 1{,}027$, so wird $x = 0{,}77\,a$, so dass also, da die Volumina den Höhen proportional sind, der unsichtbare Teil des Eisberges im Mittel ungefähr achtmal so gross als der in die Augen fallende angenommen werden darf.

Gestrandete Eisberge bilden in den pfadlosen Eiswüsten der Polarregionen häufig ausgezeichnete Landmarken, so wie dies Kane von dem in der Nähe seines Winterhafens (Port Foulke) „vor Anker gegangenen“ Pinnakelberge berichtet [40]. Ein neu antreibender Eisberg kann mit dem bereits festsitzenden zu einem homogen erscheinenden Körper zusammenwachsen. Denn auch dann, wenn ein schwimmender Eisberg geborsten, in verschiedene Teile zerbrochen ist, können unter dem Einflusse des Wasserdruckes und der Regelation (s. u. in Abt. VIII, Kap. III) diese Trümmer wieder verkittet werden [41], ohne dass die Fläche, längs deren sie aneinander gefrieren, die frühere Bruchfläche zu sein braucht.

Die Breiten, bis zu welchen Eisberge hinabschwimmen, um endlich in den Gebieten höherer Wasserwärme, vornehmlich also bei Annäherung an den Golf-

strom (S. 503), sich wieder in tropfbare Flüssigkeit zu verwandeln, sind oft sehr niedrige. Treibende Eismassen gefährden die Schiffahrt in doppeltem Sinne; einmal kann für Schiffe, die mit diesen labilen, leicht umkippenden Treibkörpern in Berührung kommen, der Zusammenstoss verhängnisvoll werden, und zum anderen bilden sich da, wo Eis und wärmeres Meerwasser das thermische Gleichgewicht durch ihren Kontakt stören, dichte Nebel (S. 22), in denen die Schiffe erhöhter Kollisionsgefahr ausgesetzt sind und sich nur durch stete Anwendung des Nebelhorns und der Dampfsirene einigermassen sichern können. Zeugnisse dafür, dass Fahrzeuge durch einstürzende Eisberge schwere Havarie erlitten haben, bringt Horner bei [42]. Günstig ist dabei nur der Umstand, dass schon in einer gewissen Entfernung von einem grösseren Eisberge das Thermometer sinkt; man hat sogar daran gedacht, auf diese Thatsache eine thermoelektrische Meldevorrichtung zu begründen. Frank erzählt [43], dass in einem Falle die Wassertemperatur rasch von 12,2 auf 8,6 und die Lufttemperatur von 14,7 auf 10,4° fiel, worauf auch bald Eisberge in Sicht kamen. — Mit Rücksicht auf möglichste Sicherstellung der Schiffahrt erstatten die trefflichen amerikanischen Pilot Charts regelmässig Bericht über die einen bestimmten Monat charakterisierenden Eisverhältnisse. Wir lesen z. B. unter den Eisberichten im Juli 1896 u. a. folgendes [44]: „July 20. Lat. 51° 50′, long. 48° 30′, to lat. 52°, long. 49° 50′ passed thirteen icebergs. July 21, from above position to Belle-Isle, passed icebergs continually ranging from 90 feet in height down to large floes 15 or 20 feet high; saw thirty-two bergs NW of Belle-Isle. — Montezuma (Br. ss.), Taylor.“ Indem so regelmässig die von den einzelnen Schiffen gemachten Aufzeichnungen zur öffentlichen Kenntnis gebracht werden, erreicht man gleichzeitig auch den Zweck, die wissenschaftliche Erforschung der Eisfrequenz einer gegebenen Meeresregion zu gegebener Zeit vorzubereiten und insbesondere nach und nach jene Grenzlinien festzustellen, bis zu welchen, je nachdem der klimatische Charakter des Jahres der Konservierung des Polareises förderlich oder nachteilig ist, dieses letztere herabgelangt. Selbstverständlich sind es nicht bloss Eisberge, welche unter der Einwirkung von Luft- und Meeresströmungen diesen Weg machen, sondern auch Eisfelder erreichen niedrige Polhöhen, aber recht tonangebend sind doch immer die ersteren. Die Treibeisgrenze ist keine stabile, sondern eine klimatisch wechselnde, und wie sie selbst ihrer Lage nach durch die atmosphärischen Verhältnisse bedingt erscheint, so kann umgekehrt, das wird man Habenicht [45] zugeben dürfen, Klima und Wetter auch rückwirkend durch die Frequenz und Aequatorialerstreckung des Treibeises bestimmt werden; nur darf man schwerlich (vgl. S. 358) den Grad dieses Einflusses besonders hoch veranschlagen. Am weitesten reicht die Treibeisgrenze, begünstigt durch die Südströmungen an der Ostküste Nordamerikas (S. 504), im westlichen Teile des Atlantischen Ozeans nach Süden, nämlich bis zum 43° n. Br., wogegen die vom Golfstrome beherrschten europäischen Meere hier gar nicht in Betracht kommen; Penck berechnet [46] „das den Meereiswirkungen unterworfene Areal auf der Nordhemisphäre“ zu 21000000 qkm. Ein übersichtliches Kärtchen für die genannte Grenze in sehr eisreichen und eisarmen Jahren hat Habenicht [47] gezeichnet; wir nehmen nur an der Bezeichnung Packeisgrenze insofern Anstand, als wir dieses Wort in §. 5 in eingeschränkterer Bedeutung anwenden werden.

Während die aus Seewasser entstandenen Eisgebilde fremdartiger Objekte aus naheliegenden Ursachen fast ganz entbehren, verhält es sich bei den schwimmenden Gletschertrümmern gerade umgekehrt: Eisberge führen in sehr vielen Fällen Geröll- und Gesteinsmaterial mit sich, welches, nachdem das Eis seinen Untergang gefunden hat, zur Erhöhung des Meeresgrundes dient. Eine sorgfältige Bearbeitung des Problemes der Transportthätigkeit des schwimmenden Eises haben wir von G. Hartmann [48]. Wohl nur geringfügig sind die Mengen von Festkörpern, mit denen sich das schwimmende Eisstück belädt, indem es den Boden aufwühlt, und auch das Einfrieren solcher Gegenstände wird nur ausnahmsweise zu konstatieren sein. Geröllführende Flüsse können ebenfalls ihren Beitrag leisten, und sowohl gewöhnlicher Staub, wie auch vulkanische Asche tragen dazu bei, das Treibeis mit einer dunklen Kruste zu überziehen [49]. Das stärkste Kontingent stellen jedoch zu dem verfrachteten Detritus (deterere, zerreiben) ohne Zweifel die von den benachbarten Höhen herabgefallenen Gesteinstrümmer, oder, um die übliche Sprache zu reden, die Oberflächenmoränen des Gletschers, aus welchem der Eisberg hervorging. Man ist nicht selten in der Lage, den Ort ausfindig zu

machen, von welchem gewisse zu Boden gesunkene Verfrachtungsprodukte herstammen; Hartmanns Tabelle [50] leistet in dieser Beziehung manche Hilfe. Allzu grosse Erwartungen darf man übrigens an die Sedimentation der schmelzenden Eisberge nicht knüpfen; immer werden doch nur relativ mässige Quantitäten solcher Transportkörper zur Aufschüttung des Grundes verwendet werden, und zudem ist ja auch der Kurs, den die Treibkörper nehmen, kein regelmässiger, sondern im einen Falle wird dieser und im anderen Falle jener Stelle des Meeresbodens eine Erhöhung zugewendet. Die früher ganz allgemein gehegte Ansicht, dass beim Aufbau der Bank von Neu-Fundland wesentlich polares Transportgestein mitgewirkt habe, hat nach J. Walther [51] sich nicht bewahrheitet. Petrographische Prüfung der aufgeholten Gesteinsproben (S. 409) hat gezeigt, dass dieselben keinen grönländischen Ursprung haben, sondern einfach auf die Zerstörung nachbarlicher Küstengebirge hinweisen.

§. 3. **Die Eisberge der Antarktis.** Man möchte erwarten, dass in vielen Punkten zwischen den Eisbergen der nördlichen und südlichen Polarregion ein tiefer greifender Unterschied nicht obwalten werde. Von vornherein ist sogar kaum einzusehen, dass und weshalb überhaupt ein solcher Unterschied vorhanden sein soll. Heute weiss man, dass dem so ist, und es wird sich nun fragen, wie derselbe zu charakterisieren und auf welche Motive er zurückzuführen sei. Die Monographie von Fricker [52] und die von den gleichen Gesichtspunkten geleitete Beschreibung, welche ebenderselbe Autor von dem noch so wenig bekannten antarktischen Gebiete geliefert hat [53], müssen uns die Hilfsmittel zu der als notwendig erkannten Trennung und speziellen Kennzeichnung der beiderseitigen Eisverhältnisse liefern.

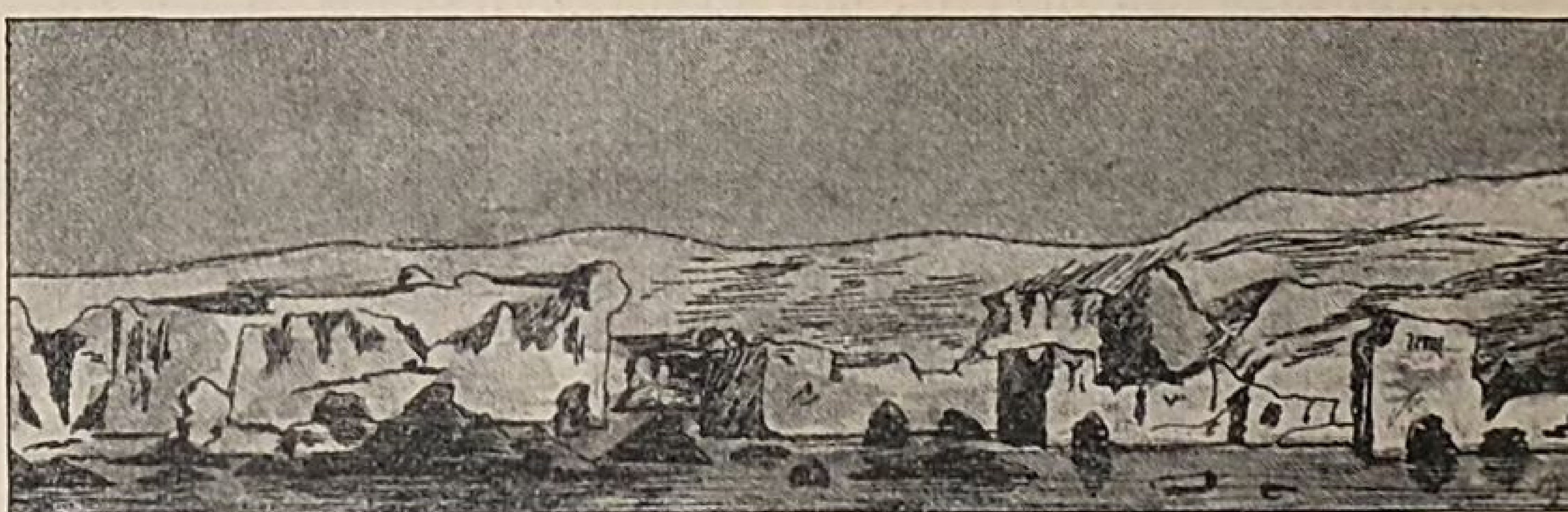
Die erste sichere Nachricht über antarktisches Treibeis entstammt [54] dem Jahre 1681, aber erst Bouvet, der 1738 zur Erkundung der angeblich entdeckten „Südländer" abging, kam ordentlich in das von Eisbergen durchzogene Meer hinein [55]. Seitdem haben sich die Beobachtungen gemehrt, und alle kommen überein in einem Satze, dem Fricker [56] folgende Fassung erteilt: In der Arktis überwiegt das Meereis das fast ausschliesslich von Grönland stammende Landeis, während im Bereiche der Antarktis die Bedeutung des Meereises beträchtlich hinter jener des Landeises zurücksteht. Nun ist ja richtig, dass für den Atlantik die Rieseninsel Grönland, wie auch A. Paulsens Karte ausweist, und wie insbesondere auch Rodmans Studien über die den von Europa auf dem üblichen Wege nach den nördlichen Vereinigten Staaten fahrenden Schiffen drohende Eisgefahr darthun [57], das präponderierende Eiszentrum darstellt, aber die Treibeismassen des Stillen Ozeans haben doch einen anderen Stammsitz, und wir möchten deshalb Frickers These lieber so fassen: Die Abstossung schwimmenden Eises gegen den Aequator hin geschieht in der Südpolarkalotte mit grösserer geographischer Regelmässigkeit, als in der Nordpolarkalotte.

Eine Erscheinung, welche dem hohen Norden nahezu gänzlich fehlt, im fernen Süden aber geradezu die Norm bildet, sind die Eismauern oder Eisbarrièren, an denen von allem Anfang an die Erforschung des Inneren scheiterte. Seit Dumont d'Urville und den beiden Ross waren die wenigen Seefahrer, welche tiefer in das Südliche Eismeer einzudringen wagten, mit diesem unabsehbar weit in wesentlich gleicher Höhe und Unzugänglichkeit sich hinziehenden Annäherungshindernis bekannt geworden [58]. Bei Pointe Géologie — der Name rührt von Dumont d'Urville her — macht der Eiswall, der auf eine Entfernung von mehr denn 200 km jedes tieferen Einschnittes, jeder Einbuchtung entbehrt, stellenweise den Eindruck eines von Menschenhand aufgeführten Bauwerkes [59] (vgl. Fig. 108). Sehr gross ist die senkrechte Höhe der Wand nicht, indem sie vielfach bloss zwischen 40 und 60 m schwankt, aber schon diese Erhebung reicht hin, um den Blick auf das Hinterland auf das äusserste einzuschränken. Und es bilden diese Festungswälle der südlichen Zirkumpolarkalotte nicht etwa eine nur gelegentlich auftretende Ausnahme, sondern geradezu die Regel. Nachdem Fricker die wenigen Stellen angegeben hat, an welchen das Binneneis weniger geschlossen vorkommt und infolgedessen ein tieferes Eindringen gestattet, fährt er fort [60]:

„Dagegen umgürten die endlosen, senkrechten Mauern des Inlandeises nahezu alle übrigen näher gesehenen Gebiete, die Nordküste des Louis-Philippeslandes, sowie dessen Südküste, das Grahamsland, die einzelnen Gebiete des Enderbylandes, das Wilkesland, die Nordküste des Viktorialandes und die Südküste des Rossmeeres, endlich auch sehr wahrscheinlich das von Cook in ca. 71° S., 105° W. gesehene Land.“ Und von diesem Inlandeise stammen wesentlich die Treibeismassen der Südmeere, womit sich die Richtigkeit der oben aufgestellten Behauptung ganz von selbst bestätigt.

Moränenbildung fehlt den antarktischen Gletschern gänzlich [61], und damit ist zugleich ausgesprochen, dass die antarktischen Eisberge nur ganz ausnahmsweise Stein- und Geröllbedeckung aufweisen; diese Ladung ist erst in unmittelbarster Nähe der Küste hinzugekommen. Das Kalben der vorgeschobenen Gletscherzungen ist hier noch sehr wenig beobachtet worden, obwohl heftiges Krachen, wie es die Ablösung des vorgeschobensten Endes der Gletscherzunge zu begleiten pflegt, zum öfteren gehört ward [62]. Die Dimensionen der so gebildeten Eisberge sind geradezu enorm; so erblickten im Jahre 1892 die englischen Schiffe „Crondale“ und „Strathdon“ unter 45° s. Br. gewaltige schwimmende Massen, welche fast ebenso undurchdringlich erschienen, wie die festländischen — oder doch festsitzenden — Eismauern [63]; 40 Seemeilen segelte das zweitgenannte Schiff an dieser schwimmenden Eisinsel entlang. Aus je höherer Breite ein Eis-

Fig. 108.

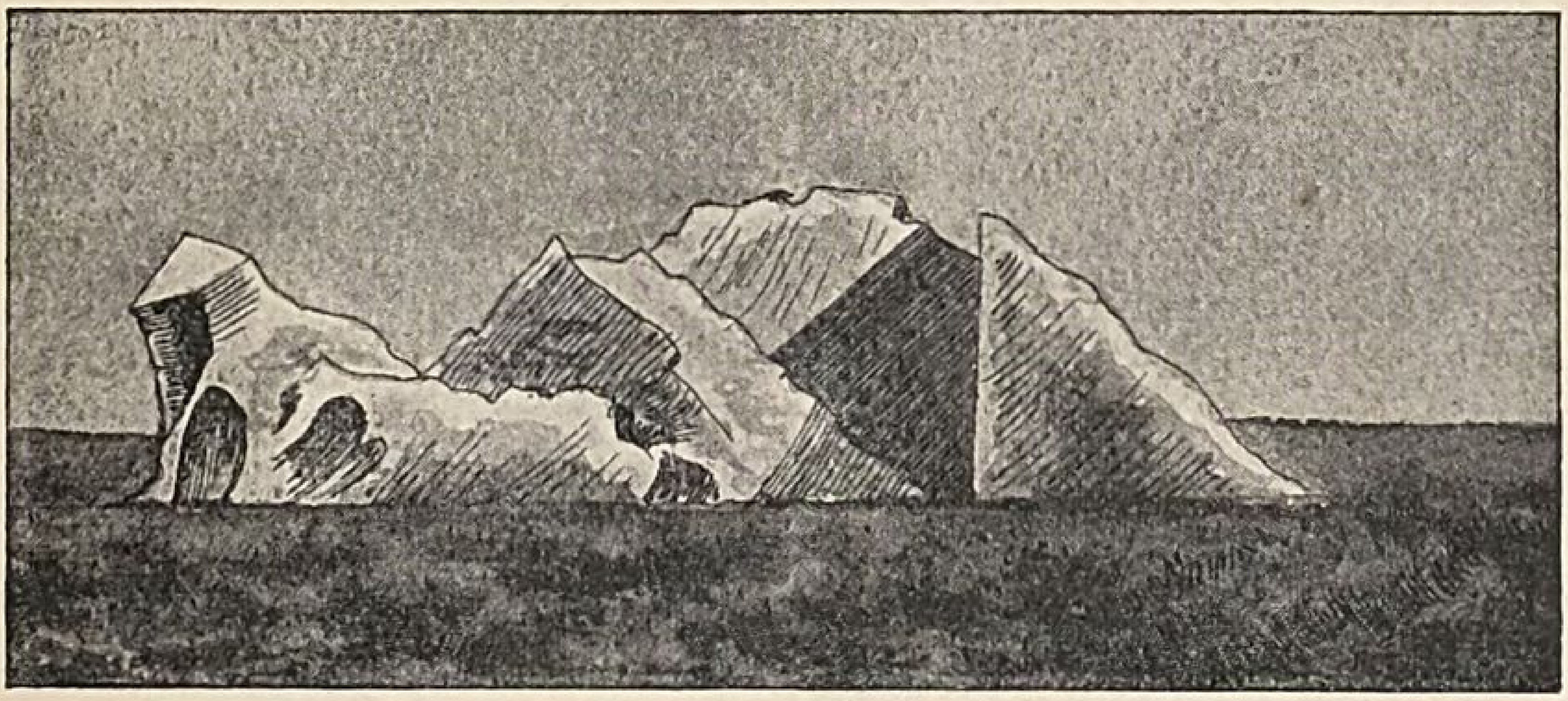


berg stammt, um so grösser ist er auch gemeiniglich. Die gestaltlichen Verhältnisse der Eisberge sind gleichfalls recht mannigfaltige, doch tritt bei ihnen der die arktischen Exemplare auszeichnende Charakter nicht so stark hervor; in Fig. 109 a und b sind zwei typische Eisklötze abgebildet, wie ihnen der „Challenger“ (S. 402) im Jahre 1874 begegnete [64]; sei es, dass die pyramidale, sei es, dass die pontonförmige Gestalt vorherrsche, immer sind phantastische Auszackungen bei den antarktischen Eisbergen weit seltener, als bei deren nördlichen Kameraden.

Es gibt um den ganzen Südpol herum keine ausgedehntere Oertlichkeit, welche der Eisbergbildung entbehrte [65]; bis zu 65°, vom Südpole her gerechnet, ist die Eisfrequenz eine ziemlich gleichförmige. Weiter nördlich hört diese Regelmässigkeit auf, indem ungleiche Temperierung von Wasser und Luft, Meeresströmungen und Winde ihren Einfluss geltend machen. Fricker hat dem mehrfach citierten Werkchen eine instruktive Karte angehängt, welche die äusserste Meereisgrenze und ebenso die äusserste Grenze des Raumes, innerhalb dessen noch schwimmende Eisberge bemerkt wurden, zur Anschauung bringt. Dieselbe reicht bis nahe an Neu-Seeland und Tasmanien heran; auch Südafrika und die Insel Tristan d'Arcunha werden von ihr berührt. Hierüber sind insonderheit die neueren Erfahrungen von Dinklage [66] zu vergleichen. Aber in manchen Jahren stösst das antarktische Vereisungszentrum so beträchtliche Massen ab, dass dessen letzte Ueberreste vor endgültiger Vernichtung in unerhört niedrige Breiten hinabgetrieben werden. Die Brigantine „Dochra“ sichtete [67] am 30. April 1894 unter 26° 30′ s. Br. (!) noch ein Eisstück, das über Wasser ungefähr 5 cm mafs und zwar schon in ruinösem Zustande sich befand, aber doch vielleicht noch weiter gegen den Aequator hin getriftet worden sein kann. Es gibt zweifellos Perioden einer mehr und minder energischen Eisabgabe; wie man von dieser Thatsache Nutzen zu ziehen vermag, werden wir in §. 9 zu konstatieren haben.

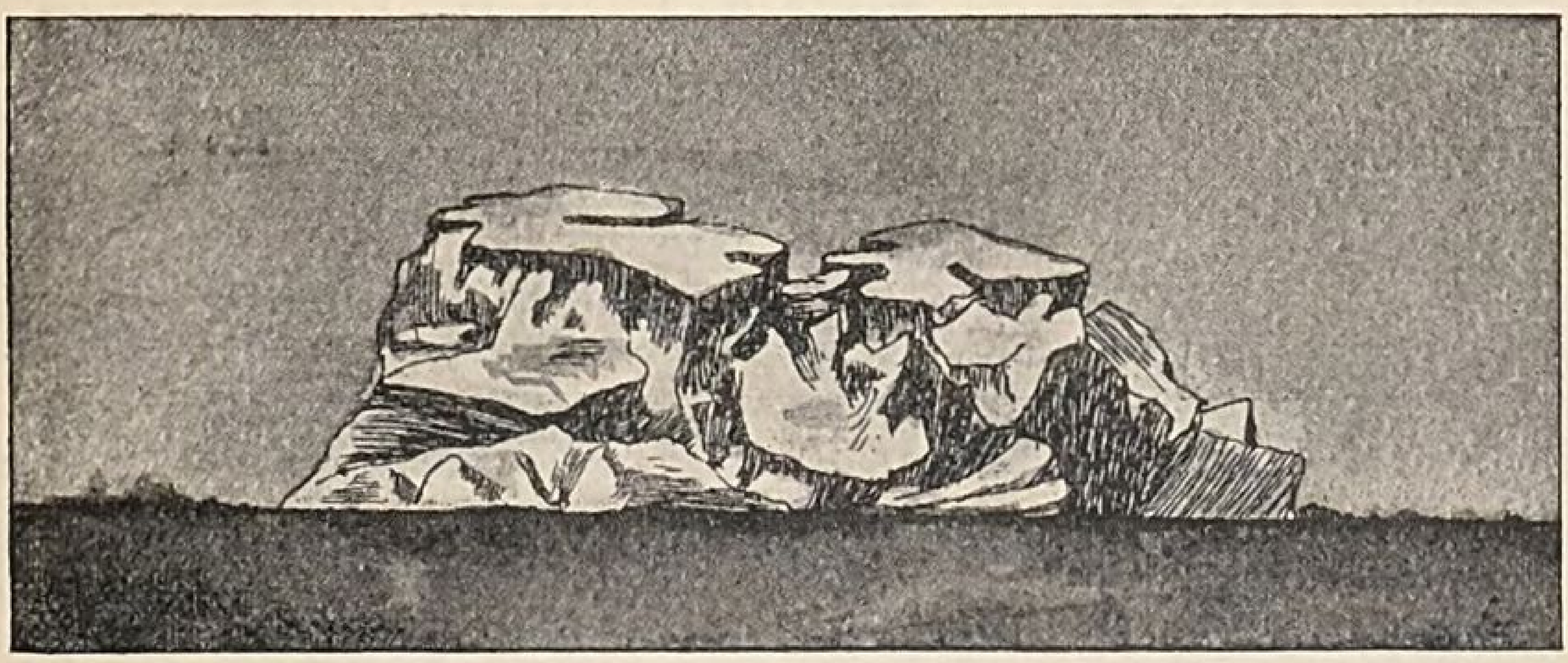
§. 4. **Der Gefrierprozess des Salzwassers.** Bis jetzt hatten wir vorzugsweise denjenigen Eisbildungen unsere Aufmerksamkeit zu widmen, welche sozusagen von Hause aus diese Eigenschaft an sich hatten, während derjenigen Eismassen, die sich unmittelbar aus flüssigem Wasser unter der Einwirkung der Kälte bildeten, nur vorübergehend Erwähnung geschah. Jetzt ist es an der Zeit, den Prozess des Festwerdens

Fig. 109 a.



selbst unter der Bedingung zu betrachten, dass nicht süsses, sondern salziges Wasser ihm unterliegt. Kap. III, §. 2 belehrte uns darüber, dass die Maximaldichte in diesem Falle nicht bei 4° erreicht wird, sondern dass hinsichtlich des Verhaltens in der Konzentration salzhaltiges Wasser nicht erheblich von anderen Flüssigkeiten sich unterscheidet. Damit hängt zusammen, dass im Momente des Festwerdens die Salz-

Fig. 109 b.



bestandteile aus dem Meerwasser ausgeschieden zu werden anfangen, wie dies die Versuche von Zöppritz [68] ausser Zweifel gestellt haben, so dass also, wie oben erwähnt (S. 532), geschmolzenes Seewassereis ein durchaus brauchbares Trinkwasser liefert.

Diese letztere Thatsache wäre, wenn wir Otto [69] folgen dürfen, ganz zufällig durch Adanson entdeckt worden, der zwei mit Seewasser gefüllte Flaschen

bei plötzlicher starker Temperaturerniedrigung zerspringen sah (S. 535), worauf dann das übrig gebliebene Eis wieder schmolz und süsses Wasser lieferte. Auch macht Otto die ganz zutreffende Bemerkung, wenn Cranz [70] grönländische Eisfelder als salzig bezeichne, so rühre dies einzig davon her, dass sich in den Höhlungen dieses meist schwammigen Eises ausgeschiedene Salzbestandteile kompakt erhalten hätten. Dem Gefrieren geht oft voran das Aufsteigen eines dichten Dampfes, den der Seemann Frostrauch nennt, und der darauf hindeutet, dass die Luft bereits gründlich durchkältet ist, während das Wasser sich kraft seiner grösseren Wärmekapazität noch einer höheren Temperatur erfreut [71] (S. 12, 196). Nach Mitchell und Albers [72] muss die Luft bezüglich um 14,4 und 10,6 Celsiusgrade wärmer als das salzige oder süsse Wasser sein, wenn es zu einer ergiebigen Frostdampfentwickelung kommen soll.

Ueber die Modalitäten, unter welchen die Salzteile des Meerwassers (S. 435) dasselbe verlassen, sind Untersuchungen von dem Grafen Saporta [73] und von Petterson [74] angestellt worden, von denen auch v. Boguslawski [75] entsprechend Akt nimmt. Man kann strenge genommen nicht sagen, dass das neu entstehende Eis absolut salzfrei sei, wohl aber mangeln ihm ganz und gar die für den Geschmack massgebenden Chloride (S. 431), während Sulfate thatsächlich auch in das feste Wasser übergegangen sind. In 1 l Seewassereis konnte Buchanan [76] nur mehr 0,1723 g Chlor nachweisen. Der Uebergang aus dem tropfbaren in den starren Aggregatzustand ist von Weyprecht, dem eine ungewöhnlich grosse Erfahrung zur Seite stand, einlässlich geschildert worden [77]. Wir wollen mit ihm den Vorgang betrachten, der sich in unmittelbarster Nähe schon vorhandener Eismassen abspielt. Im Inneren dieser letzteren bestehen fortwährend starke Spannungen, die sich in grossen Spalten, auf welchen dann wieder kleinere Risse senkrecht stehen, durch die Eisfelder hinziehen. Das Meerwasser dringt in jede solche Spalte ein, indem aus ihm die uns bekannten Frostnebel aufsteigen, das Anzeichen intensiver Kälte. Eben durch das Verdampfen wird Wärme gebunden, und bald beginnen dünne Eisfäden von den Rändern her sich gegen die Mitte zu spinnen. Es entsteht ein Eisbrei (Gasch), der sozusagen einen eigenen Uebergangszustand darstellt und erst nach 30—36 Stunden fest genug ist, um einen Menschen tragen zu können. Doch macht dieses junge Eis noch längere Zeit den Eindruck einer gespannten Lederdecke und schwankt nachgiebig hin und her. Solche Stellen — Kane spricht [78] vom „Wogen des zähen Salzwassereises" — können nur mit äusserster Geschwindigkeit passiert werden; jeder Halt bringt die Gefahr sofortigen Einbrechens. Diese Zähigkeit ist eine Folge des Umstandes, dass die oberen Schichten noch nicht reines Süsswassereis geworden sind, sondern viele Salzteile in sich schliessen. Erst allmählich tritt dasselbe vollständig aus, wenn die Abnahme der Temperatur anhält, und dann steht auf der Oberfläche des krystallinisch und damit hart und spröde gewordenen Eises eine förmliche Salzsoole, die nach einiger Zeit aber wieder an die Eisfläche angefrieren kann, so dass sich dann allenthalben spitze Nadeln der Salzkrystalle bilden. Im asiatischen Russland bedient man sich dieses frei gewordenen Salzes (rassól) zur Speisezubereitung.

Es steht also fest, dass zwar nicht auf einmal vollständig, aber doch ziemlich rasch nach Eintritt der Gefriertemperatur, die Salzbestandteile das erstarrende Wasser verlassen, welchem nur noch ein geringer Sulfatgehalt verbleibt. In der Hauptsache darf physikalisch und chemisch das Meerwassereis als Süsswassereis betrachtet werden, und die Herstellung trinkbaren Wassers (vgl. S. 433) kann auch, falls die Temperatur danach ist, dadurch erfolgen, dass man Blöcke aus Eisfeldern zum Schmelzen bringt. So haben sich die Nordpolarfahrer auch gewöhnlich im Winter mit dem unentbehrlichsten aller Lebensmittel versorgt.

§. 5. **Die physikalischen Eigenschaften des Eises.** Von den Eisbergen haben wir nicht mehr zu sprechen, und es ist auch bereits erinnert worden, dass wir uns mit der in mancher Hinsicht abweichenden Eigenschaftenreihe des Gletschereises, aus welchem jene Treibkörper

bestehen, erst später zu beschäftigen haben werden. Dagegen ist alles übrige Eis im wesentlichen als ein Gebilde von vollständig gleichartiger Beschaffenheit anzusehen. Es sollen nun einige wichtigere Mitteilungen über die Physik des Eises gemacht werden, auf welche man dann zu rekurrieren hat, wenn man die Gestaltänderungen untersucht, denen das Meereis stetig unterliegt.

Des spezifischen Gewichtes ist bereits (S. 536) Erwähnung gethan worden. Demnächst kommen die Ausdehnungsverhältnisse an die Reihe, über welche schon zum öfteren gearbeitet worden ist. Als linearen Ausdehnungskoëffizienten α eines Stoffes definiert man, seitdem die Ausdehnung der Körper durch die Wärme zuerst von den Florentinern zum Versuchsgegenstande gemacht ward [79], die Grösse, welche, wenn ein dünner Stab von der Länge l bei einer Erhöhung der Temperatur um t^0 in die Länge $l(1+\alpha t)$ übergegangen ist, als Faktor von t erscheint, und der kubische Ausdehnungskoëffizient besitzt, allerdings nur angenähert, den dreifachen Wert des linearen. Messungen dieses letzteren hat man von Schumacher [80] und Moritz [81], während der kubische von Brunner [82] und von Plücker-Geissler [83], sowie in neuerer Zeit auch von De Saporta [84] bestimmt wurde. Mit Hilfe des von Petterson (S. 540) angewandten Dilatometers (S. 419) gelang die Feststellung, dass α für Eis keine vollkommen konstante Zahl ist, dass vielmehr bei $-0{,}35^0$ eine gewisse Unregelmässigkeit in der Ausdehnung eintritt. Wir geben nachstehend einen Teil der von Petterson für die Werte des kubischen Ausdehnungskoëffizienten konstruierten Tabelle wieder (k kubischer Ausdehnungskoëffizient; t Temperatur):

t	k	t	k	t	k
−0,02°	−0, ...	−0,25°	−0,001663	−2,05°	+0,000170
−0,03°	−0,096685	−0,35°	−0,000361	−3,05°	+0,000170
−0,05°	−0,036385	−0,55°	+0,000089	−4,05°	+0,000170
−0,15°	−0,008057	−1,05°	+0,000100	−7,05°	+0,000169

Bei möglichst fremdkörperfreiem Wasser konnte der Zeichenwechsel von k als mit 0° so gut wie ganz zusammenfallend angenommen werden. Reich mit Salzen imprägniertes Eis gelangt früher als gewöhnliches in den oben schon berührten Zustand einer gewissen Plastizität. Uebrigens gelten Pettersons Angaben zunächst für das eigentliche Polarmeereis; bei Meeren, deren Salzgehalt und Wasserdichte geringer sind, schwankt die Temperatur des erwähnten Zeichenwechsels zwischen -5^0 und -14^0, und das im freien Ozean gebildete Eis ergibt nach De Saporta [85] durchweg negative Werte des kubischen Ausdehnungskoeffizienten für einen grossen Spielraum der Temperatur. Geophysikalisch ist der Gegensatz zwischen den am einen oder anderen Orte gebildeten Eisarten von hohem Belange. Die Ausdehnung des Polareises vollzieht sich nicht mit jener Regelmässigkeit, welche man anderwärts beobachtet, und daher kommt es, dass bei plötzlich einfallendem Froste sich Packeis in so gewaltigen, unter Umständen drohenden Dimensionen bildet, wie es im freien Meere nicht zu erwarten gewesen wäre.

Die Festigkeit des Eises ist eine in manchen Beziehungen überraschend grosse, obwohl es einen der sprödesten Körper darstellt, den wir kennen. Den Sprengwirkungen der Explosivstoffe setzt marines Eis den stärksten Widerstand entgegen, wie dies Bessels [86] in einem sehr dringenden Falle erleben musste, als man das eingefrorene Schiff aus der Eisklemme erlösen wollte. Als Baumaterial kann Eis in kalten Ländern anstandslos verwendet werden.

Festigkeitsversuche stellte schon Mairan [87] mit gutem Erfolge an, indem er Eiscylinder der Zerquetschungsprobe durch aufgelegte Gewichte unterstellte.

Aus Kanonen und Mörsern, welche aus grossen Donau-Eisstücken bei Dillingen auf der Drehbank hergestellt waren, liess J. Weber [88] Eis- und Metallkugeln abschiessen, ohne dass die Kohäsion des Materiales durch die Erschütterung irgend gelitten hätte. Aus diesem Grunde braucht auch eine Eisdecke, welcher man die stärkste Beanspruchung zumuten kann, gar nicht besonders dick zu sein; als im Jahre 1683 Lastwagen über die gefrorene Themse gingen, betrug die Eisdicke nur 11 Zoll [89]. Die Eskimos vertrauen ihren Hunden, dass sie die Dicke des neugebildeten Eises instinktiv richtig abzuschätzen verstehen. Ueber neuere Versuche von Moseley [90], rükwirkende und absolute Eisfestigkeit betreffend, erstattet v. Boguslawski [91] Bericht. „Moseley fand sie zwischen 70,057 und 99,42 engl. Pfund für 1 engl. Quadratzoll, gegen Zerreissen 111,57 Pfund, gegen Druck durch aufgelagerte Gewichte 308,4 Pfund auf 1 Quadratzoll." — Ein Eispalast, den die Kaiserin Anna 1740 in St. Petersburg aus Newa-Eis erbauen liess, und von dem uns Krafft [92] eine Beschreibung geliefert hat, bekundet am besten die innere Festigkeit des gefrorenen Wassers. Der Eingeborene der Polarländer zieht übrigens dem Eise harten Schnee zur Erbauung temporärer und dauernder Wohnungen vor, weil sich derselbe, bei sonst gleichen physikalischen Eigenschaften, leichter bearbeiten und in Blöcke oder Tafeln zerlegen lässt.

Von einigen anderen, in die Physik einschlagenden Eigentümlichkeiten des Eises soll noch kurz die Sprache sein. Dasselbe ist diaphan, hat — wenn rein — dieselbe bläuliche Farbe, wie das Wasser selbst (Kap. I, §. 6), und ein nur unbedeutend hinter dem jenes Stoffes zurückbleibendes Brechungsvermögen [93]. Man kann Eis ebenso gut wie Glas zur Verfertigung von Sammellinsen für Licht und Wärme verwerten, wie Mairans Versuche, Pulver im Brennpunkte einer solchen Linse zu entzünden, bewiesen haben [94]. — Untersuchungen über die Wärmeleitungsfähigkeit des Eises stellte Dalton [95] an, die allerdings mit der erfahrungsmässig in kalten Ländern längst festgestellten Thatsache, dass Eis ein sehr schlechter Wärmeleiter ist, nicht ganz übereinstimmten. Jedenfalls ist, P. Ermans Experimenten [96] zufolge, Eis auch kein Leiter der Elektrizität. — Praktischen Wert für den Polarforscher hat auch das Studium der Bedingungen, unter denen das Eis auftaut, schmilzt; dieser Vorgang bewirkt nicht bloss eine rasche Verflüssigung, Ablation, der oberflächlichen Schichten, sondern versetzt auch die ganze Masse in einen minder kohärenten, brüchigen Zustand. Den Umstand, dass Eis im Salzwasser rascher als gewöhnliches Süsswassereis sich auflöst, dürfte der scharfe Beobachter Martens (I, S. 18) zuerst hervorgehoben haben [97]. Mairan hielt sich überzeugt [98], dass bei besonders lebhafter Verdunstung einem Eisstücke binnen 24 Stunden der fünfte Teil des Gesamtgewichtes durch Verwandlung des festen in den elastischflüssigen Aggregatzustand verloren gehe. Ueber die Bedeutung, welche die Diathermansie (S. 12) des Eises in klimatischer Hinsicht gewinnen kann, orientiert die früher (S. 254) schon der Erörterung unterzogene Monographie von Woeikow [99]. — Die Lehre vom Eise würde freilich, wenn sie einigermassen vollständig sein wollte, noch auf verschiedene andere Probleme einzugehen verpflichtet sein, allein da diese letzteren erst in der Glazialphysik ihre eigentliche Bedeutsamkeit erlangen, so darf auch bis dahin (Abt. VIII, Kap. III) die Diskussion verschoben werden. Nur ein Moment muss schon an dieser Stelle gewürdigt werden, weil es für fliessende Gewässer, Seen und Meere gleichmässig in Betracht kommt.

§. 6. **Das Grundeis.** Seit langer Zeit wird gestritten über die Bildung des Eises auf dem Grunde der Gewässer, ohne dass eine Einigung über das, was man Boden- oder Grundeis nennt, zu erzielen gewesen wäre. Schon Horner [100] klagte, dass die Behandlung dieser Frage „zu den Schattenseiten unserer Naturlehre" gehöre, und 30 Jahre später wurde in Scoppewers Monographie [101] über diesen Gegenstand die gleiche Klage erneuert. Aber erst in unseren Tagen scheint eine grössere Klarheit über den Ort, an welchem das irrtümlich so genannte Grundeis entsteht, angebahnt worden zu sein.

Aeusserlich unterscheidet sich dieses Eis von dem an der Oberfläche des Wassers gebildeten durch sein poröses und schwammiges Aussehen und seine ins Graue spielende Färbung; man kann in ihm eine gewisse Schichtung, eine Zu-

sammensetzung aus dünnen Eisscheibchen, wahrnehmen, und nur bei grosser Kälte ist es zu erwarten. Dafür, dass es der Tiefe entstammt und erst nachher an die Oberfläche aufsteigt, scheint die vielfach bezeugte Thatsache zu sprechen, dass Sand, Stein und andere Dinge von den Grundeisschollen mit heraufgebracht worden sind; in England nennen es sogar die Seeleute Anchor-Jce, weil verloren gegangene Anker auf solche Art wieder geborgen worden sein sollen. In der That liegt aus dem Jahre 1806 der Bericht eines Lotsenkommandeurs Steenke vor [102], dahin gehend, dass eiserne Ketten, welche 4—5 m tief auf dem Grunde des Pillauer Hafens gelegen waren, auf der Oberfläche erschienen; „sie waren mit Eis in einer starken Mannsdicke ringsum kandiert". Solche Vorkommnisse mussten die Frage nahe legen, ob das Eis wirklich unten entstanden oder ob es, weiter oben gebildet, erst zum Grunde hinabgesunken und von dort wieder zum Emporsteigen veranlasst worden sei.

Es fehlte, seit Plott [103] damit den Anfang gemacht, nicht an Stimmen, welche sich dahin äusserten, dass der Gefrierprozess stets auf dem Boden beginne. Dass das Meer in grossen Tiefen gefroren sei, schloss man aus dem für die höheren Partien thermometrisch festgestellten Abnehmen der Temperatur mit der Tiefe (S. 424); höchstens die innere Erdwärme, so meinten andere, könne die Eisbildung vielleicht verhindern. „In so grossen Tiefen" — Mairan spricht [104] von 600—800 m — „würde das Wasser des Meeres allezeit gefroren sein, wenn es nicht daselbst von einem noch tieferen Feuer fliessend erhalten würde." Aus seinen in verschiedenen Ozeanen angestellten Beobachtungen zog sogar Péron (S. 420) den folgenden gewagten Schluss [105]: „Alle bisher angestellte Versuche deuten einstimmig darauf hin, dass die tiefsten Abgründe des Meeres, ebensogut als die höchsten Gipfel unserer Gebirge, mit ewigem Eise bedeckt sind, selbst unter dem Aequator." Da wäre denn allerdings das Grundeis ganz einfach erklärt, aber gleich darauf nahm L. v. Buch [106] entschieden Stellung gegen Péron, indem er treffend (vgl. S. 491) die Einströmung polaren Wassers für die niedrigen Tiefentemperaturen äquatorialer Meere verantwortlich machte.

Gegen Plott und den wesentlich auf gleicher Spur wandelnden Hales [107] wandte sich Nollet [108] mit der Entgegnung, dass die von ihm in Binnengewässern gemessenen Bodentemperaturen niemals die zur Kongelation erforderliche Kälte ergeben hätten; seiner Meinung nach war an besonders ruhig fliessenden Flusstellen eine Eishaut entstanden, welche dann stromabwärts trieb und da, wo man ihre Herkunft nicht kannte, den Eindruck erweckte, von unten nach oben aufgestiegen zu sein. Mit Nollet erklärte sich Gehler [109] völlig einverstanden, aber Scoppewer macht [110] mit Recht darauf aufmerksam, dass die Eisdecke an Flüssen stets vom Ufer gegen die Mitte hin wachse, und auch die Beobachtungen, welche Desmarest [111] und F. A. Brauns [112] an französischen und deutschen Strömungen gemacht hatten, wollten sich mit Nollets Anschauung nicht vereinbaren lassen. Desmarest hielt dafür, dass die Kongelation zwar nicht auf dem Grunde selber, aber doch nahe am Grunde, nämlich in den tiefen Erd- und Sandschichten der Flussufer, vor sich gehen müsse. Diese Hypothese hat wirklich manches für sich, denn so liess sich auch anscheinend die erwähnte und von Brauns durch eine Fülle von Einzelfällen bestätigte Thatsache der Emporhebung fester Gegenstände verstehen. Wir wollen hier die einschlägigen zahlreichen Beglaubigungen [113] nur streifen und, indem wir die naturphilosophischen Spekulationen Hugis [114] ebenfalls zu nennen uns begnügen, kurz die neueren Hypothesen über die Bildung des fluviatilen Grundeises kennen lernen. Scoppewers Uebersicht (s. o.) ist hierzu vorzüglich geeignet, indem wir nur doch die von diesem Autor unbeachtet gelassenen Arbeiten von Lichtenberg [115] und Zschokke [116] ebenfalls der Betrachtung unterziehen.

Lichtenberg entschied sich für den Grund als Bildungsstätte des in Rede stehenden Eises, nicht minder Merian [117]; Zschokke dagegen erklärte [118] den sogenannten Tost oder Treibschnee (vgl. Abt. VIII, Kap. III) als etwas wesentlich mit dem fälschlich diesen Namen führenden Grundeise Identisches. Arago [119] unterschied zwischen stehendem und fliessendem Wasser; im ersteren, so nahm er an, würden die tiefen Schichten nicht über das Dichtemaximum hinaus abgekühlt werden können, während Bäche und Flüsse einer gründlicheren Durchkältung bis zum Grunde fähig seien, und wenn sich dort also Wasser von 0^{0} befinde, so seien bei der Menge dort befindlicher Ansatzpunkte der Krystallisation die günstigsten Bedingungen für das Gerinnen des Wassers gegeben, worauf

sich das Eis loslöse und aufsteige. Ganz befriedigt erklärte er allerdings selber nicht von seiner Hypothese zu sein. Gay-Lussacs [120] Behauptung, dass die Eisbildung erst bei — 8° beginnen sollte, wurde von Strehlke [121], Mohr [122] und Scoppewer [123] zurückgewiesen; Mohr bemerkte namentlich, dass Eisnadeln beim Herabsinken sich bis zur Durchschnittstemperatur der ganzen Wassermasse erwärmen müssten. Recht anschaulich sucht eine Schrift von C. W. Weber [124] die Oberflächenbildung des Grundeises zu machen. Teilweise mit Zschokke (s. o.) übereinstimmend, behauptet Weber, dass das Grundeis auf dem Wasser zu stande kommt und als unentwickeltes Treibeis gelten kann. Man würde vielleicht besser sagen: Es charakterisiert den Uebergang vom Treibschnee zum Treibeise. Die Wasserbewegung splittere von der noch lockeren Masse Partikeln ab, welche sinken, sich an Steinen, Gewächsen u. s. w. anheften und schliesslich bei steigender Temperatur wieder an die Oberfläche kommen, Bruchstücke der Objekte, an welchen das Eis einen Halt gefunden hatte, mit sich führend. Wir gestehen, dass uns der plausiblen Erklärung der unwiderleglich erscheinende Grund entgegenzustehen dünkt, welcher aus der geringen, das Sinken verhindernden Dichte des Eises herzuleiten ist. Neuerdings haben die Mitteilungen von Rae [125] und Macdougall [126] Beachtung gefunden, welch letzterer Erfahrungen von amerikanischen Seen mitteilt, während Rae seichtes Wasser, lebhaft wirbelnde Bewegung und Felsboden — diese Annahme weicht ganz und gar von derjenigen Desmarests (s. o.) ab — als die natürlichen Voraussetzungen der Bodeneisbildung zu erkennen glaubte.

Bislang war weit mehr vom Grundeise des Binnenlandes, als von demjenigen des Meeres die Rede. Erst in allerjüngster Zeit haben auch die Ozeanographen die Materie einer gründlicheren Prüfung gewürdigt. Dass dabei manches Missverständnis mit unterlief, erhellt aus der eigentümlichen Definition von Hegemann [127]: „Grosse Eismassen, die durch die Strömung auf den Grund gesetzt werden, sind unter dem Namen Grundeis bekannt.“ Treffender wies H. Meier [128] auf die früheren Studien von Brauns (s. o.) über das sogenannte Siggeis hin, und im Anschluss daran sprach er sich für eine doppelte Möglichkeit der Grundeisbildung aus: einmal wirklich auf dem Boden der Gewässer, und sodann auch im fliessenden Wasser. Ein Vortrag ferner, den Petterson 1897 wesentlich über Grundeisvorkommnisse im Skager Rak hielt, ist durch G. Schott und H. J. Klein auch in Deutschland bekannt worden [129] und hat erheblich zur Klärung der noch immer schwankenden Meinungen beigetragen. Der schwedische Forscher unterscheidet in den ihm bekannten, zur Bildung dieser Gattung von Eis führenden Fällen drei verschieden temperierte Meeresschichten; die Grundschicht ist relativ warm und sehr salzig, wird aber, in 10 m Mitteltiefe, von einer kalten Schicht mit schwachem Salzgehalte abgelöst, und während letztere Eigenschaft auch der obersten Schicht verbleibt, eignet derselben doch eine namhaft höhere Temperatur. Man hat also (S. 423) dichotherme und katohyaline Schichtung. Bei ruhigem Wasser steigen plötzlich tellergrosse Eisschollen empor, welche rasch aneinanderfrieren und dann weithin die Meeresfläche bedecken; dieses Eis ist, wie echtes Grundeis (S. 543), zwar nicht eben fest, wohl aber äusserst zäh. Die eigenartige vertikale Anordnung der Wärme und des Salzgehaltes war durch das Eindringen kalten und salzarmen Wassers vom Kattegat, d. h. von der Ostsee (S. 434) her bedingt gewesen.

Wenn auch die Untersuchung Pettersons sich zunächst auf einen Busen der Nordsee bezog, so unterliegt es doch keinem Zweifel, dass dieselbe einen Fingerzeig auch für das Verständnis der Erscheinung an sich darbietet. Auch die Bildung dichten Treibeises, welche v. Nordenskiöld [130] nächst der Lenamündung konstatierte, wird hierher einzubeziehen sein. Das Kennzeichen, dass in unglaublich kurzer Frist das Meer weithin mit Eisklumpen und Eisschollen sich bedeckt, massig genug, um dem Hindurchkommen mit einem Schiffe Schwierigkeiten in den Weg zu legen, trifft beidemale zu. Und jetzt sehen wir uns auch in die Lage versetzt, das Wesen des viel besprochenen, gewöhnlich aber zu schematisch und einseitig aufgefassten Vorganges, wie folgt, zu präzisieren: Die Bildung der porösen Eisschollen, welche die Sitte als Grundeis bezeichnet,

kann in beliebiger Tiefe unter dem Wasserspiegel erfolgen, falls nur die vertikale Wärmeverteilung der Entstehung einer keilförmig zwischen zwei wärmere Schichten sich einschiebenden Zwischenschicht von verhältnismässig niedriger Temperatur Vorschub leistet.

Nunmehr ist auch das Wiederaufholen versunkener Gegenstände durch das Grundeis ausreichend verständlich gemacht. Der kalte Keil dringt von aussen in einen seichten Golf ein; dass dabei die Windrichtung eine Rolle spielt, wird wohl durch Lothes' Vergleichung [131] der Windrose (S. 79) der Danziger Bucht in den Wintermonden mit den Eisverhältnissen nahe genug gelegt. Die untere wärmere Schicht kann bei geringer Meerestiefe in solchem Falle verschwindend dünn oder auch gar nicht vorhanden sein. Die Vermutung Desmarests (S. 543), dass der Prozess des Gefrierens zunächst in den Uferwandungen seinen Anfang nehme, kann auch bei dieser Auffassung unangefochten bleiben, denn als Hauptsache muss doch der Umstand gelten, dass eine Kaltwasserzunge aus einem benachbarten Meere sich in das höher temperierte Wasser vorschiebt.

§. 7. **Die Metamorphosen des Polareises.** Unter diesem Namen ist das grundlegende Werk des berühmten Polarforschers Weyprecht erschienen, auf welches wir oben schon (S. 540) hinzuweisen genötigt waren. Die Phänomene, welche er zusammenfassend behandelte, sollen den Gegenstand des vorliegenden Paragraphen bilden. Ausgeschlossen bleiben die arktischen Eisberge (§. 2), die eine getrennte Betrachtung ebenso erheischten, wie die antarktischen (§. 3), durchweg vom Festlandeise abgelösten Treibeiskörper. Hier haben wir es einzig und allein mit den Erstarrungsprodukten des Salzwassereises zu thun. An und für sich einfache Gebilde von einer gewissen geometrischen Regelmässigkeit, gelangen dieselben unter der kombinierten Einwirkung des Frostes und der Luft- und Meeresströmungen zu einer oft abenteuerlichen Mannigfaltigkeit der Formen, welche in raschester Folge wechseln. Nicht einmal Pinsel und Lichtbildkunst, viel weniger trockene Schilderung vermag diesen Wechsel so festzuhalten, dass seine einzelnen Modalitäten genauer zu übersehen wären, und es kann sich deshalb bloss darum handeln, dass gewisse allgemeine Normen ihre Stelle finden, welche sich immer wieder, als „ruhender Pol in der Erscheinungen Flucht“ (S. 246) einzustellen pflegen.

Wie schon (S. 533) erwähnt, ist das Eisfeld der eigentliche Typus der Salzwassereisbildungen, eine schwimmende Masse, deren Oberflächendimensionen (Länge und Breite) weit gegenüber der vertikalen Dimension (Höhe, resp. Tiefe) überwiegen. Kleinere Eisfelder sind unter dem Namen Schollen oder Flarden bekannt. Neugebildetes Meereis weist eine ebene Oberfläche auf, aber lange hält zumeist dieser normale Zustand nicht an, und die früheren Eistafeln werden in ein höckeriges, wild zerrissenes Konglomerat von Eisblöcken verwandelt, welche man Treibeis, Packeis, Schraubeneis nennt; letzteres, weil man oft meinen möchte, die Eismassen seien einer furchtbaren Torsion ausgesetzt gewesen. Die nautische Sprache der angelsächsischen Völker bedient sich der Bezeichnung Hummocks. Die Kräfte, welche eine derartige Umgestaltung zuwege bringen, hat Weyprecht [132] auf Grund der Wahrnehmungen geschildert, welche er nur allzu reichlich zu machen in der Lage war, als sein Schiff, der „Tegetthoff“, ein volles Jahr vom Eise umschlossen, besetzt war. Springfluten geben den Anlass, dass sich sowohl Sprünge bilden, als auch Pressungen einstellen, welche die zersprungenen Teile einander wieder nähern; teilweise werden dann zusammenstossende Schollen durch die Regelation (S. 536), wie man sagt, aneinander geleimt, teils auch bewirken Wind, Gezeiten- und Meeresströmungen, dass die einzelnen Eismassen übereinander geschoben werden. Hohe Auftürmung wechselt mit Senkungen, und das Ganze gewährt dann das Bild einer schreckenerregenden

Eiswildnis, die jedoch nicht den stabilen Charakter einer Steinwüste zeigt. Zwar treten zeitweise Stadien der Ruhe in der Eispressung ein; in die Spalten und Zwischenräume ist vielleicht junger Schnee gefallen, der als Bindemittel wirkt, aber dauerhaft ist diese Verkittung niemals, und während die Eisbollwerke noch vor kurzem so fest waren, dass mit Pulver und Dynamit nichts gegen sie auszurichten war (vgl. S. 541), bringen die still wirkenden Naturkräfte bald wieder eine Lösung des Zusammenhanges zuwege, so dass die Eisblöcke in wildem Tumulte sich umeinander bewegen und erst in vollkommen anderer Ruhelage wieder gefrieren. Der Nordpolfahrer Payer, der mit lokaler Sachkunde auch grösste zeichnerische Geschicklichkeit verbindet, hat in dem Werke [133], welches die Entdeckung von Franz Josephs-Land beschreibt, Bilder der festgewordenen Eiswellen gegeben und das eingefrorene Expeditionsschiff „Tegetthoff“ auch meisterhaft als Wandgemälde des neuen Naturhistorischen Hofmuseums in Wien verewigt; eine Abbildung hat Supan in sein Werk [134] aufgenommen. Gut konstruierte Fahrzeuge werden durch die Eisschraubung aus dem Wasser herausgehoben und entgehen dann und wann der Gefahr, zusammengedrückt zu werden; bekannt ist dass Nansen mit Rücksicht auf das, was kommen musste, eine ganz eigentümliche Einrichtung erfunden hatte [135], welche sich auch gut bewährte. Andere Schiffsmannschaften, wie diejenigen der „Hansa“ und der „Advance“, mussten ihr eingefrorenes Schiff im Stiche lassen, um sich, so gut es gehen wollte, zu retten, und Halls „Polaris“, deren rettlosen Zustand uns eine Zeichnung von Bessels vor Augen stellt [136], sank, nachdem sie monatelang die Umklammerung des Eises ertragen hatte. Die abenteuerlich, ja fabelhaft lautenden Erzählungen von den Schollenfahrten, welche einen Teil der „Polaris“-Besatzung [137], ebenso wie früher die „Hansa“-Männer, in südlichere Gegenden brachten, sind bekannt. — Schlittenreisen durch die Hummocks gehören zu den schwierigsten Aufgaben, welche die Polarforschung ihren Pionieren stellt. Besonders drastische und spannende Beschreibungen von dieser Art zu reisen hat man von Hayes, der zweimal den gefrorenen Smith-Sund hin und her kreuzte [138]; einer seiner Begleiter, der hoffnungslos von der Arbeit abliess, sagte [139], man könne mit gleicher Aussicht auf Erfolg versuchen, „über die Dächer der Stadt New York zu fahren“. Darüber sind alle Sachverständigen einig, dass die höckerige Beschaffenheit des Meereises das ernsteste Hindernis der Erforschung jener Länder darstellt, zumal auch deshalb, weil der auf ebener Bahn unübertreffliche Ziehhund der Eskimos und Nordsibirier innerhalb des Packeises seine Brauchbarkeit nach und nach ganz einbüsst. Der Reisebericht [140] von Nansen und Johansen spricht in dieser Beziehung eine überaus beredte Sprache.

Vom Juni ab kommt die Eisdecke allgemach ins Schmelzen [141]; der kundige Seemann befördert den Prozess, indem er Asche und das die Sonnenstrahlen seiner schwarzen Farbe halber gierig aufsaugende Kohlenpulver auf den bedeckenden Schnee streut, denn erst wenn dieser weich geworden ist, vermag die Auftauung kräftiger einzusetzen. Diejenigen Schneelagen, welche nicht direkt von der wärmer werdenden Luft bespült werden, schmelzen nicht sofort, sondern erleiden eine Veränderung der molekularen Beschaffenheit, durch welche sie dem in Abt. VIII, Kap. III zu behandelnden Firn ähnlich werden. Man würde übrigens irren, wollte man annehmen, die direkte Bestrahlung wäre bei der Auflösung des Eises besonders thätig, denn die Wassernebel, und zumal die sommerlichen Regengüsse, zehren weit intensiver am Leibe des gigantischen Eiskörpers. Davon, dass meteorisches Wasser auch dem sehr hohen Norden nicht gänzlich fehlt, hatte schon die Klimatologie (S. 297) gehandelt; und Friedrich [142] studierte, auf ein stattliches Material von Reisetagebüchern sich stützend, sorgfältig die Verteilung der Niederschläge verschiedenen Aggregatzustandes, sowie deren Einfluss auf die Schneelagerung. Vor Beginn der Schmelze ist der arktische Schnee hart und fest, so dass seine Flocken mit Sandkörnern verglichen werden [143], aber in der wärmeren Jahreszeit, die sich nach Friedrichs Zusammenstellung [144] an verschiedenen Orten des gleichen Breitengrades keineswegs synchron geltend macht, wird der Polarschnee weich und ballungsfähig, so wie wir Bewohner milderer Zonen ihn gewöhnlich kennen. Wenn zu Ende Juli und Anfang August auch die Wassertemperatur sich über Null erhebt, so beginnt die Zerstörung der Eisflarden auch von unten her und schreitet dann schnell fort. Das Pressen und Reiben der Schollen dauert fort, aber da jetzt die vereinigende Aktion der Winterkälte fehlt, so trägt jeder Stoss das Seinige zur Vernichtung der Masse bei. In den Nachtstunden entsteht zwar junges Eis, allein ihm fehlt fürs erste die Widerstandsfähig-

keit, und diese erstarkt erst um die Mitte des August wieder hinlänglich, um den Tauprozess zu neutralisieren. Nach Weyprecht genügen zwei Frühherbst- und Spätsommerwochen, um das Eis wieder winterlich fest zu machen, obwohl dasselbe auch im September noch relativ dünn bleibt, weil eben der sommerliche Verlust noch nicht durch Neubildungen hat ausgeglichen werden können.

Jahraus jahrein wiederholt sich die Zerstückelung und partielle Zerstörung des Eises in der warmen, die Umformung und Anhäufung speziell des Salzwassereises in der kalten Jahresperiode [145]. Gäbe es keine Eispressung, dann würde ein Eisfeld in Jahresfrist immer um 1 m an Dicke zunehmen, aber dagegen schützt der ewige Ortswechsel zwischen festem und flüssigem Wasser, und indem unausgesetzt Wassermengen verschiedener Temperierung sich mengen, bleibt die Möglichkeit (S. 543) ausgeschlossen, dass das Polarmeer bis zum Grunde gefriere; frieren doch nicht einmal die Binnenseen der Polarwelt vollständig aus, wie daraus erhellt, dass nach Abschmelzen der Eisdecke die Tierwelt, vorab die Fische, noch bei vollem Leben angetroffen zu werden pflegen. Für beide Eismeere gilt Weyprechts Satz: „Das Eis kann durch Gefrieren nur so weit anwachsen, bis seine Zunahme im Winter gleich der Abnahme im Sommer ist.“ Die Maximaldicke ist gleicherweise eine Funktion der Luft- und Wassertemperatur, wie auch der Mächtigkeit der im Sommer durch Ablation weggeschafften Eisschicht. Eine mittlere Dicke von 6—7 m wird selten überschritten. Salzwassereishügel von grösserer Höhe sind somit durchweg als Ergebnis der Eisüberschiebung anzusprechen.

Man kann demzufolge auch kaum sagen, das Polareis befinde sich jemals im Zustande vollkommener Ruhe [146]; „Das ganze Eis des Polargebietes ist treibendes Eis; seine Motoren sind die Winde und Strömungen“. Nur in unmittelbarer Nähe der Küste findet sich ein einigermassen fester, freilich auch von stetiger Abbröckelung bedrohter Eisstreifen, der aus den Reiseberichten wohlbekannte Eisfuss, welcher bei Bootfahrten oft eine Möglichkeit gewährt, sich vor dem wilden Aufruhr der aneinander schlagenden Flarden in wenigstens momentane Sicherheit zu bringen. Hartmann hat sich mit diesem Küsteneise und seinen Beziehungen zur Küstenbildung eingehend beschäftigt [147], aber eine eigentliche Definition des Wortes Eisfuss wird, wie Goebeler bemerkt [148], auch bei ihm vermisst, und thatsächlich scheint dieselbe auch in befriedigender Form nicht leicht zu geben zu sein. Diejenige Weyprechts (s. o.) stellt bloss das Vorhandensein der selten ganz fehlenden Eisvorlage des meist felsigen Ufers fest, aber die Frage, warum gerade hier das Eis ausdauernder als sonst irgendwo sich erweist, bleibt einstweilen noch ungelöst. Der feste Stützpunkt, welcher dem Randeise seine Zählebigkeit verleiht, muss eine morphologische Rolle spielen, welche weiterer Aufhellung noch sehr bedürftig bleibt.

Abgesehen vom Eisfusse gibt es also stabiles Meereis nirgendwo. In Landeinschnitten, welche dem grossen Pulsschlage des Meeres grösstenteils entrückt sind, kann sich wohl gelegentlich mehrjähriges Eis ansammeln, wie solchem Mac Clure (s. u. in §. 9) auf Banksland begegnet sein will. Wie dauerhaft Polareis dann sich zeigen kann, wenn es von kalten Strömungen fortgetrieben wird, beweisen die obenerwähnten Schollenfahrten; die Trift der „Wilhelmine“ begann bei 79° und endigte bei 63° n. Br. [149]; diejenige des „Polaris“-Kontingentes war noch ausgedehnter, denn als das Treiben schon länger begonnen hatte, wurde eine Polhöhe von 74° 4′, und am Tage vor der Bergung durch die „Tigress“ wurde eine solche von 53° 30′ gemessen [150]. Die Schollenbewegung ist oft eine so schwankende, dass die Insassen des sonderbaren Fahrzeuges seekrank werden; die grossen Packeisfelder befinden sich hingegen in anscheinend vollständiger Ruhe, und leises Erzittern des Quecksilberhorizontes ist immer ein Zeichen der Nähe von offenem Wasser. Wirkt der Wind stark und beharrlich auf eine Flarde zu, so bildet sich an dieser Stelle eine kräftige, zusammenhängende Eiskante. Mit der Richtung der Meeresströmungen steht die Thatsache in Kausalverbindung, dass die Ostküsten von weit dichteren Eismänteln umschlossen sind, als die Westküsten; man denke an Franz Josephs-Land, Novaja Semlja, Spitzbergen, Grönland und die meisten Inseln im Norden von Britisch-Nordamerika. Schon hieraus ist zu schliessen, dass die territoriale Verschiedenheit der Eisverhältnisse eine sehr in die Augen fallende ist, und zwar liegt der Grund hierfür nicht sowohl in der Temperatur des laufenden Jahres, sondern in den Wind- und Stromverhältnissen des Beobachtungsjahres und des demselben vorhergegangenen Winters. Aus den ungeheuren Eismassen, welche sich vor ganz

Ostgrönland als oft undurchdringliche Schranke lagern und auch die Dänemark-Strasse besetzt halten, konnte man die Insularität Grönlands lange vor Pearys Entdeckungsreisen [151] erschliessen, denn wo sollte all dies Treibeis marinen Ursprunges herkommen, wenn jenes Land sich etwa bis zum Pole oder gar über denselben hinaus erstrecken würde? Gäbe es dort kein Meer, dann müssten sich die ostgrönländischen Gewässer im Sommer beinahe eisfrei darstellen.

Durch diese Erwägungen sind wir auch der Entscheidung einer viel erörterten Frage nahe geführt worden, derjenigen, ob es paläokrystisches oder perennierendes Eis (Ureis, παλαιός, alt und κρυστός, geronnen) in den Polarregionen geben könne. Nares hat diese Frage angeregt [152], als er in sehr hoher Breite alt aussehenden Eismassen von 16 bis 25 m Mächtigkeit begegnet war; immerhin ist seine Ausdrucksweise — er spricht nicht von „Paleocrystic Sea", sondern bloss von „Paleocrystic Floes" — eine vorsichtige, an sich noch zu keiner ausschweifenden Konklusion verleitende. Wenn nur das gemeint sein soll, dass in besonders geschützter Lage das Eis jahrelang vor zerstörenden Einflüssen geschützt bleiben und ein namhaftes Dickenwachstum aufweisen kann, so lässt sich (S. 536) kaum etwas einwenden, aber erstens sind solche Vorkommnisse Ausnahmen, und zweitens fallen auch diese alten Eiswälle früher oder später ihrem Ende anheim. Ewiges Eis, so äussert sich Weyprecht [153], gibt es ebensowenig wie ewige Bäume oder tausendjährige Menschen. Diesem Urteile wird in der Fachwelt [154] allgemein beigepflichtet, soweit man es mit Meereis zu thun hat; betreffs des Binneneises werden wir uns am bezeichneten Orte eine zum Teile abweichende Anschauung zu bilden haben.

Schon Élie De Beaumont leugnete [155], dass ein paläokrystisches Meer zu denken sei, indem er sich auf die empirische Formel berief, welche er für die Bestimmung des Jahreszuwachses einer Eismasse aufgestellt hatte. Selbst an Stellen, welche durch Jahrzehnte von Eis bedeckt erscheinen, ist dieses Eis doch nicht allezeit das nämliche. Wenn ein Feld von Salzwassereis diejenige Mächtigkeit erlangt hat, welche unter dem vereinten Einflusse von Kälte, Eispressung und Regelation zu erlangen ist, so wird von diesem Zeitpunkte an die Abnahme im Sommer die winterliche Zunahme übertreffen, und schliesslich kommt auch ein im verstecktesten Winkel festgestautes Eisstück zur Abfuhr. Der grosse atmosphärisch-hydrosphärische Kreislauf des Wassers regelt die Metamorphosen des Polareises und sorgt für kontinuierliche Fortschaffung und Wiedererneuerung der polaren Eisgebilde.

An das angebliche Vorhandensein uralten Eises knüpften sich die sonderbarsten Sagen. Adam von Bremen glaubte im XI. Jahrhundert zu wissen, dass es auf Island Eis vom höchsten Alter gebe; dasselbe sei schwärzlich von Farbe und so trocken, dass man es in Brand stecken könne [156]. Auch späterhin spukt dieses Märchen noch in den Reisebeschreibungen [157], wenn es auch nicht mehr recht geglaubt wird. Otto will durch eine etwas gewaltsame Erklärung [158] Sinn in die Fabel bringen, indem er andeutet, es könne wohl durch die Reibung der sich pressenden Eisschollen zwischenliegendes Treibholz sich entzünden, allein das ist offenbar bei so stark durchfeuchtetem Holze, das schon (S. 497) einen weiten Weg im Wasser zurückgelegt hat, ganz unmöglich. Viel näher liegt der Gedanke, dass die sonst nicht leicht in solcher Grossartigkeit zu findende, für Island charakteristische Kombination von Vulkan- und Gletschererscheinungen den Anlass zur Erfindung des brennbaren Eises gegeben hat; aus verschiedenen Stellen des Werkes von Thoroddsen [159] ersieht man, dass die ferne, eisumstarrte Insel lange ein von der Phantasie der Europäer mit allen möglichen Raritäten ausgestattetes Wunderland gewesen ist.

Die vielgenannten sibirischen Eismauern, deren v. Wrangels Reiseschilderungen — vgl. die Essays v. Engelhardts [160] über diesen Seefahrer

und seine meist russisch geschriebenen Veröffentlichungen — zuerst gedachten, sind nach Weyprecht [161] nichts als das Resultat von Ueberschiebungen. A. E. v. Nordenskiöld [162] führt diese Ueberschiebungstendenz auf die Volumveränderungen zurück, welche das Eis bei Temperaturschwankungen erleidet. „Wenn das Eis von 0° auf — 15° abgekühlt wird, müssen Risse in ihm entstehen, die auf 1000 m eine Breite von 32 Zoll haben werden. Die Risse frieren natürlich bald nach ihrem Entstehen wieder zusammen, und wenn das Eis wieder, z. B. auf — 5°, erwärmt wird, so muss eine Aufschichtung von 21 Zoll pro Kilometer stattfinden." Ein schwedischer Zoll ist angenähert = 0,055 m zu setzen. Will man die Wachstumsverhältnisse des Meereises abschätzen, wie dies durch v. Boguslawski [163] in einer Reihe von Leitsätzen geschehen ist, so müsste man, strenge genommen, auch dem erwähnten Umstande Rechnung tragen.

Einen Versuch zur Berechnung der Eismassen, welche aus den beiden grossen Zufuhrstrassen, östlich und westlich von Grönland, in den Atlantischen Ozean getriftet werden, hat Dorst gemacht [164]. Indem v. Boguslawski [165] denselben entsprechend erweitert, kommt er zu dem Schlusse, dass alljährlich rund ein Parallelepipedum von 2 245 000 qkm Oberfläche aus dem arktischen Inneren in die südlicheren Meere gelangt, um dort seinen Untergang in wärmeren Gewässern zu finden. Das geschmolzene Eisvolumen würde auf 32 Billionen Kubikmeter zu veranschlagen sein. Wer sich einen mit Eisschollen dicht besetzten Meeresteil vorstellt, wozu etwa v. Heuglins Abbildung [166] verhelfen kann, wird in dieser an und für sich freilich enormen Zahl nichts Uebertriebenes finden.

§. 8. **Eisblink und Wasserhimmel.** Beim Passieren der Treibeismassen liegt dem Schiffsführer oder dem ihn in kritischen Situationen vertretenden, mit den regionalen Verhältnissen besonders vertrauten „Eismeister" die Pflicht ob, vom höchsten Punkte des Schiffes, dem Krähenneste, aus die Fahrstrasse zu bestimmen [167]. Vor allem hat er dabei sein Augenmerk auf den Horizont gerichtet zu halten und die Sprache, welche dieser spricht, entsprechend zu deuten. Ein dunkler Streif, der Wasserhimmel (Water-Sky) belehrt ihn, dass in dieser Richtung offenes Meer zu erwarten ist, während ein heller Wiederschein, Eisblink (Ice-Blink) genannt, das Vorhandensein einer Eisschranke in der betreffenden Himmelsgegend erwarten lässt.

Fast überall im Eise stösst man auf Waken, grössere und kleinere eisfreie Räume des Eismeeres, die selbstredend nicht lange am gleichen Orte verbleiben; bald öffnet sich eine Lücke im Treibeise, bald schliesst sie sich wieder, während an entfernter Stelle vielleicht eine neue Oeffnung aufklafft. Man weiss, in welche Bedrängnis sich Nansen und Johansen während ihrer rückwärtigen Eiswanderung durch die niemals vorauszuberechnenden Rinnenbildungen gebracht sahen [168]. Eine erste Erwähnung des Sachverhaltes, wenn auch allerdings keine vollkommen klare, glaubt Weber [169] bei Martens aufgefunden zu haben, indem derselbe doch wohl ausdrücken will, dass da, wo man die Luft „blau oder schwärzlich" sieht, nur kleine Eisfelder vorauszusetzen seien. Die im Deutschen ein wenig veränderte Benennung „Wasserschatten" ist anscheinend zuerst von Parry gebraucht worden [170]. Auf den „dunklen Himmel im Norden" gründete Hayes [171], nachdem er unter furchtbaren Mühsalen (S. 546) den 82. Parallel hinter sich gelassen hatte, seine Zuversicht, dass sich dort ein weites, nicht mehr vom Eise in Banden gehaltenes Meer ausdehne. Häufig zeigt sich der dunkle Fleck mitten in der Helligkeit, wie dies mit Bestimmtheit wohl zuerst von Scoresby [172] gesehen worden ist.

Mit dem Eisblink wurde man in Europa wahrscheinlich durch Forsters Reisen näher bekannt; die Sache selbst war natürlich allen Polarforschern längst geläufig. „Das, was bei den Grönlandfahrern Eisblink heisst," meldet Otto [173], „nämlich ein weisser Wiederschein am Horizonte, bemerkte Herr Forster, so oft er in die Nähe grosser Eisfelder kam; ja er konnte nach dieser Erscheinung allemal versichert sein, dass man nur wenige Seemeilen vom Eise entfernt war." Ausgedehnte Eisfelder erzeugen die hellsten, durch einen gelblichen Farbenton sich

noch mehr heraushebenden Lichtreflexe; Treibeis scheint ein reineres Weiss, neu entstandenes Eis bloss einen ins Graue spielenden Schimmer zu ergeben. Am meisten gelb wird der Lichtschein, wenn dicke Schneelagen das Eis bedecken.

Hauptursache dieser Lichterscheinung ist jedenfalls eine diffuse Reflexion des Himmelslichtes (S. 98), welche sich verstärkt, wenn direkt Sonnenstrahlen die Eisfläche treffen. Wir erkennen keinen zwingenden Grund, mit Horner [174] an eine „ungewöhnliche Strahlenbrechung“ zu appellieren. Wäre die ganze Polarkalotte mit glattem Eise überzogen, so würde eine viel breitere und hellere Lichtzone den nördlichen Horizont umziehen, doch könnte es auch dann nicht zu dem lebhaften Farbenspiele der Wolfertschen Hypothese [175] (I, S. 607) kommen, welche das Polarlicht mit dem gewöhnlichen Eisblink ursächlich zusammenfassen wollte.

§. 9. **Allgemeiner Charakter der arktischen Welt.** Nachdem wir uns in den vorstehenden Paragraphen mit den Eisverhältnissen beider Polarzonen unseres Erdballes gründlich beschäftigt haben, tritt die Notwendigkeit an uns heran, das geographische Fazit aus den Ergebnissen der Einzelbetrachtung zu ziehen. Zwei Probleme treten unter diesem Gesichtspunkte, wenn wir uns einstweilen bloss auf die Arktis beschränken, beherrschend in den Vordergrund: Wie haben wir uns in grossen Zügen den Charakter der noch unbekannten, eigentlich zirkumpolaren Region vorzustellen? Wie steht es ferner mit der Möglichkeit, einen der beiden in die kalte Zone hineinreichenden Kontinente zu umsegeln? Noch ist unser Wissen Stückwerk, aber trotzdem steht kaum zu befürchten, dass die Antworten, welche wir auf diese Fragen zu erteilen gedenken, in wesentlichen Punkten sich als unrichtig erweisen könnten.

Durch Nansens kühnen Vorstoss ist das Eismeergebiet nördlich bis zum 86. Breitenkreise aufgeklärt worden, und es hat sich gezeigt, dass dort die Dinge ganz ähnlich gelagert sind, wie in anderen Meeresteilen. Die weite Reise der „Fram“, in Verbindung mit der Eiswanderung von Nansen und Johansen, hat die Wahrscheinlichkeit nahe gelegt, dass namhafte Entdeckungen festen Landes in der Polarsee nicht mehr zu erwarten sind. Auch ist durch sie eine andere, dereinst viel umstrittene Frage nahezu mit Sicherheit im negativen Sinne entschieden worden, die nämlich, ob in sehr hohen Breiten ein offenes Zirkumpolarmeer angenommen werden dürfe oder nicht.

Aus theoretischen Gründen hatte man lange dieser Lieblingsmeinung Derjenigen gehuldigt, welche sich die Erreichung des Nordpoles als eine ziemlich leichte Sache dachten. Baruffi, der Biograph Planas, erzählt [176] von diesem grossen Mathematiker, derselbe habe noch kurz vor seinem Tode eine analytische Untersuchung über die Verteilung der Wärme auf der Erdoberfläche abgeschlossen und aus ihr das Vorhandensein zweier freier Meere an den Polen gefolgert. Mit der ihn auszeichnenden Energie, gelegentlich wohl auch Hartnäckigkeit trat A. Petermann für einen Gedanken ein, in dessen Durchführung er sein eigentliches Lebenswerk erblickte. Die Instruktionen, welche er für die deutsche Expedition nach Ostgrönland, unter Koldeweys Leitung [177], entworfen hat [178], führen uns am besten in die Ideenwelt des thatkräftigen Mannes ein, welcher sich auch in einer ganzen Reihe von Artikeln seiner „Geographischen Mittheilungen“ immer im gleichen Sinne anfeuernd vernehmen liess. Ausgehend von den drei nördlichsten damals erreichten Punkten, an welche sich die Namen Parry, Morton und Hayes knüpften, konstruierte er ein riesiges Grönland, welches über den Nordpol hinaus bis zum 180.° Länge reichen und, relativ schmal, auf beiden Seiten, von freiem Wasser umgeben sein sollte. Beharrlich hielt er an dem Meeresteile zwischen Grönland und Spitzbergen als an einer besonders geeigneten Zufahrtsstrasse zu diesem hypothetischen Meere fest, während

man sich heute überzeugt hält, dass für die Erreichung höherer Breiten Smith-Sund und Kennedy-Kanal immer noch die besten Vorbedingungen darbieten.

Eine sehr bemerkenswerte mathematische Prüfung der Umstände, welche bei Bildung und Fortschaffung des arktischen Eises zusammenwirken, führte Börgen [179] zu dem Schlusse, „dass wohl grössere und kleinere offene Stellen, Waken, Polynien" — vgl. S. 502 —, „niemals aber ein grosses offenes Meer am Pole existieren können." Hiemit stimmt die gesamte seemännische Praxis überein. Wie aber will man, so kann man nicht umhin, zu fragen, die so bestimmt lautenden Angaben derer sich zurechtlegen, welche das offene Meer mit eigenen Augen erblickt zu haben versichern? Wenn wir selbst von Hayes Abstand nehmen, dessen geographische Ortsbestimmungen vor Bessels' Kritik [180] nicht zu bestehen vermochten, so bleibt doch immer Mortons Aussage [181] übrig, dass der Kennedy-Kanal sich im Norden zu einer „grossen, völlig eisfreien Wasserebene erweitere". Durch Greeleys Expedition, welche an die nämliche Stelle gelangt ist, wurde die Entscheidung herbeigeführt; über deren Resultat berichtete Rachel [182] schon bald nach der Heimkehr der wenigen am Leben Gebliebenen: „Das Nordpolarmeer, über dessen Existenz jetzt wohl kaum mehr ein Zweifel bestehen kann, ist für Schiffe unfahrbar und wegen der vielen offenen Stellen auch für Schlittenreisen ungeeignet." Das Zirkumpolargebiet nördlich von Sibirien, Grönland und den amerikanischen Archipelen ist wirkliches Meer, aber von Eis in stets wechselnder räumlicher Anordnung bedeckt; da, wo einmal ein Beobachter wirklich freies Wasser gesehen, kann sich einem nicht minder zuverlässigen Beobachter ein paar Jahre später ein wüstes Durcheinander grotesker Eisblöcke und zusammengeschobener Eisflarden darstellen. Ein Meer im Sinne gemässigter Breiten gibt es jenseits des 80. Breitengrades nicht, obwohl auch die dicht gepackten Eismassen sich keineswegs in völliger Ruhe befinden, sondern der Einwirkung zwar langsam, aber stetig fortschreitender Meeresströmungen unterliegen, als deren bedeutsamste die „Fram"-Trift anzusehen ist.

Ist nun damit jede Hoffnung, sich dem nördlichen Endpunkte der Erddrehungsachse noch mehr als bisher nähern zu können, zu nichte gemacht? Das kann man nicht sagen; vielmehr erweckt gerade die launenhaft erscheinende Variabilität in der Eisbesetzung bestimmter Meeresteile die Hoffnung auf partielle Erfolge. Nicht immer bleiben die Verhältnisse die gleichen; wenn also ein gutes Jahr zum Vordringen von Grönland oder auch von den Neu-Sibirischen Inseln aus gewählt wird, so darf man die Erreichung sehr hoher Breiten recht wohl für möglich halten. Auch ist die Auswahl der Jahre kein reines Glücksspiel, sondern es gibt die physikalische Geographie sehr nützliche Fingerzeige zur aprioristischen Beurteilung des individuellen Eischarakters eines Jahrganges.

In erster Linie ist die Allgemeintemperatur in Rechnung zu ziehen, und diese wird wiederum zum Teile dadurch bestimmt, dass die warmen Meeresströmungen (Kap. V, §. 4) nicht immer gleich intensiv ihre Ausläufer nach den hohen Breiten entsenden. In dem früher (S. 502) besprochenen Aufsatze von Janko [183] finden sich mehrere hierher zu beziehende Angaben über die Schiffbarkeit des europäisch-asiatischen Polarmeeres. Auch die Windbeobachtungen verdienen erhöhte Aufmerksamkeit, und ganz selbstverständlich wird man auch den Eröffnungen Derjenigen besonderes Gewicht beimessen, welche ein Jahr zuvor diese Gewässer befahren haben. Die Möglichkeit, dass auch die Sonnenfleckenfrequenz eine gewisse Rolle spiele, ist nach v. Schleinitz [184] früher schon (S. 173) in Erwägung gezogen worden. Als Perioden, während welcher ein besonders lebhaftes Eistreiben konstatiert wurde, sind 1772—74, 1828—30, 1839—40, 1853—56, 1858—60 und 1878—79 aufgezeichnet, und wirklich fallen vier von diesen Zeiträumen ziemlich genau auf die Sonnenfleckenmaximalzeiten der Wolfschen Periode (I, S. 77). Unmittelbar nach einer solchen Epoche würde mithin ein verhältnismässig eisfreies Meer und eine gesteigerte Aktionsfähigkeit der dorthin abgehenden Schiffe vorauszusetzen sein.

Die Erzwingung einer nordwestlichen und einer nordöstlichen Durchfahrt haben die Seefahrt treibenden Völker angelegentlich seit dem Zeitpunkte beschäftigt, da am 7. Juni 1494 der berüchtigte Vertrag von Tordesillas abgeschlossen wurde. Durch ihn wurde, obschon nach Ruge [185] eine genaue Abgrenzung der Demarkationslinie niemals erfolgt ist, die Erdkugel in eine spanische (West-) und portugiesische (Ost-)Hälfte zerlegt, und Holländer wie Engländer sahen sich vorerst von der Erschliessung der gewinnbringenden Gewürz- und Goldländer abgehalten, wenn sie nicht einen selbständigen Weg dorthin entdeckten. Ungemein viel Mühe, Scharfsinn und Kapitalkraft ist an diese Aufgabe verschwendet worden, denn heutzutage können wir ohne Gefahr, durch die Thatsachen widerlegt zu werden, den Satz aufstellen: Die nordwestliche Durchfahrt ist für alle Zeiten ungangbar; die nordöstliche Durchfahrt gewährt die Möglichkeit einer direkten Verbindung zwischen Skandinavien und der Bering-Strasse, aber freilich ist eine regelmässige Passage auch hier zu wenig verbürgt, um als Handelsweg in ernstlichen Betracht zu kommen.

Die Versuche, eine Nordweststrasse um Amerika herum ausfindig zu machen, datieren auch schon vom Jahre 1497; die Namen Cabotto, Cortereal, Verrazzano, Frobisher, Davis, Baffin — durchweg ausgezeichnete Namen der Entdeckungsgeschichte — verknüpfen sich mit diesen Bestrebungen [186], deren Erfolg aber lediglich darin bestand, dass die Schiffe in ein Wirrsal von Inseln, Landvorsprüngen und eiserfüllten Sunden gerieten, aus dem sich gar manche nicht mehr zu retten vermochten. Es sei nur an die unglückliche Expedition J. Franklins [187] erinnert, deren trauriges Schicksal freilich der Erdkunde grossen Nutzen gebracht hat, weil sonst nicht immer wieder jene Erdgegend zum Zielpunkte neuer Untersuchungsfahrten gemacht worden wäre. Parry, die beiden Ross, Mac Clintock und andere hervorragende Polarfahrer beteiligten sich an diesen Versuchen, und indirekt verdankt man ihnen auch die Auffindung der Durchfahrt selbst. Mac Clure nämlich, der von Westen her diese Strasse aufsuchte, brauchte vom Frühjahr 1850 bis zum April 1852, um, nachdem sein Schiff im Packeise zurückgeblieben war, Mac Clintocks Winternothafen zu erreichen [188]; ohne diese glückliche Verkettung von Umständen wären vermutlich auch er und seine Begleiter den Drangsalen erlegen. So ist bis jetzt Mac Clure der einzige gewesen, der von der Existenz einer nordwestlichen Durchfahrt aus eigenem Erleben zu berichten wusste, und es steht fest, dass eine Umschiffung Nordamerikas zwar nicht zu den absolut unmöglichen, aber doch zu den allerschwierigsten Leistungen gehört.

Etwas, aber auch nur etwas besser steht es mit der nordöstlichen Durchfahrt. Russische Offiziere und Seeleute hatte im Verlaufe des XVIII. Jahrhunderts mit grösster Energie die Nordküste Sibiriens aufgeklärt; Deschnew, Schalaurow, Prontschischtschew, Tscheljuskin, um nur einige zu nennen, gehörten zu den kühnsten geographischen Pionieren aller Zeiten, und G. F. Müllers Geschichtswerk [189] enthält nach dieser Richtung sehr viel wertvolles, noch nicht genügend ausgenütztes Material. Allein auch erst gegen Ende des XIX. Jahrhunderts hin wurde es möglich, den Gesamtweg zurückzulegen, wenn auch nicht in einem Zuge. Nachdem A. E. v. Nordenskiöld zuerst 1875 eine Probefahrt nach dem Jenissey unternommen, die Befahrbarkeit der Kara-See (S. 502) kennen gelernt und sich von dem Vorhandensein eines ziemlich lebhaften Handels von und nach der Obmündung persönlich überzeugt hatte, rüstete er, unter Mithilfe seiner Mäcene Dickson und Sibiriakow, die „Vega" zur entscheidenden Fahrt aus. Das Reisewerk [190] belehrt uns, dass das am 4. Juli 1878 von Gothenburg ausgelaufene Schiff rasch und ungefährdet bis über die Mündung der Lena hinaus kam, dann aber unter 67° 30′ n. Br. und 173° 23′ w. L. — also gar nicht mehr weit vom ersehnten Endziele der Bering-Strasse — einfror, um dann im folgenden Frühling über Japan nach Europa zurückzukehren. Aus der Schilderung des entscheidenden Tages erhellt [191], dass bei ein klein wenig mehr Glück die Ueber-

windung der schlimmen Stelle, welche am 28. September 1878 der „Vega“ für einen vollen Winter Halt gebot, wohl möglich gewesen wäre. Man darf also ungescheut es aussprechen: Eine Umseglung Asiens längs der nordöstlichen Durchfahrt ist möglich und kann sich unter günstigen Eisverhältnissen sogar in einem einzigen Sommer vollziehen. Für Handel und regelmässigen Verkehr jedoch dürften nur einige Teilstrecken dieser Linie geeignet gefunden werden [192].

Man darf nach diesen Ausführungen mit einer gewissen Befriedigung auf das hinblicken, was in der Entschleierung der Arktis geleistet worden ist. Indem wir betreffs der älteren Polarreisen auf die Darstellung Embachers [193], bezüglich derer der letzten Jahre auf einen zusammenfassenden Aufsatz Volls [194] hinweisen, geben wir der immerhin nichts weniger denn apodiktischen Ansicht Raum, dass hier polaren Entdeckungen von grosser Tragweite weder in topischer noch in physischer Beziehung nicht mehr entgegenzusehen ist.

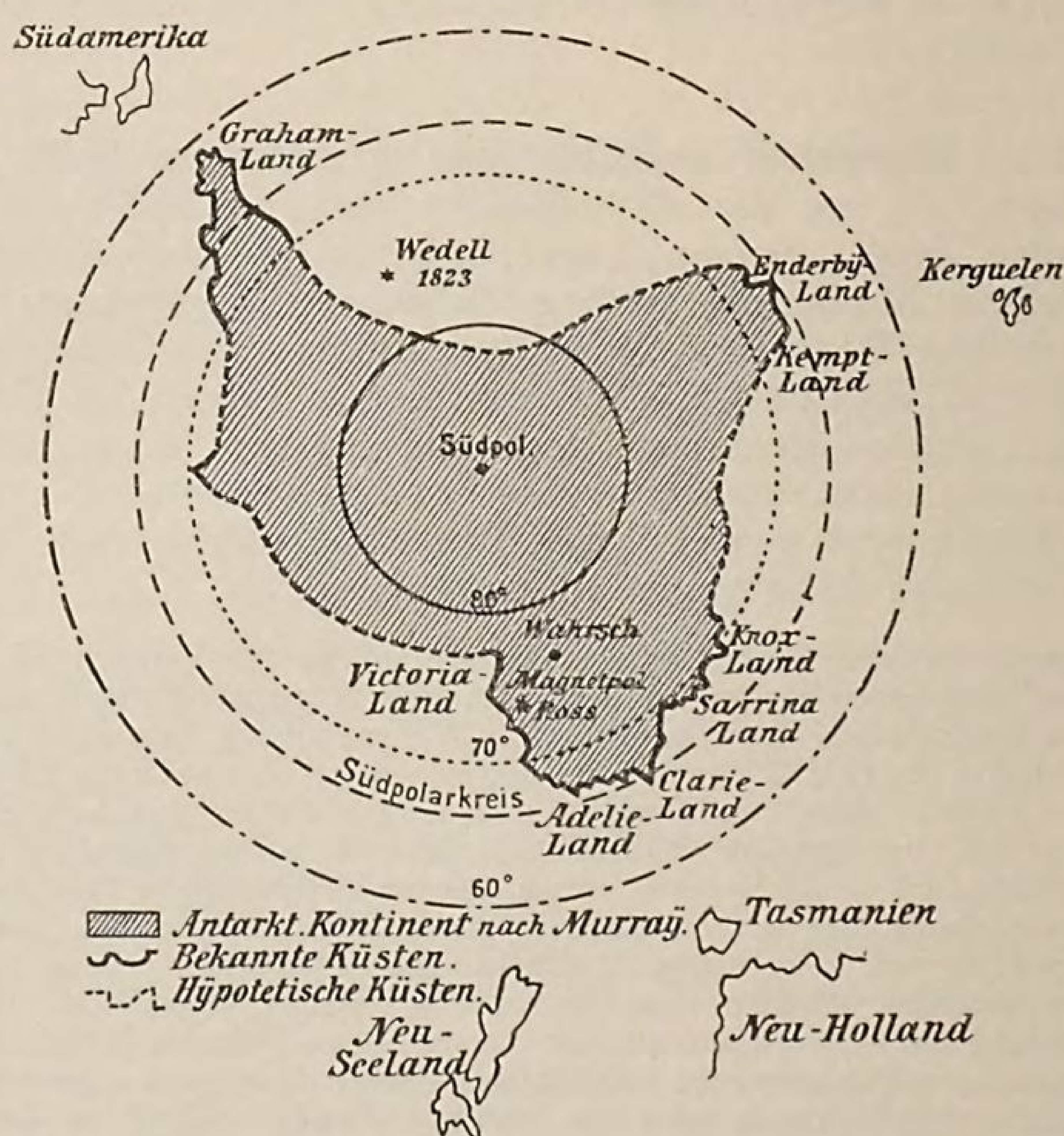
§. 10. **Allgemeiner Charakter der antarktischen Welt.** Ungleich viel weniger, als von der nördlichen, wissen wir leider von der südlichen kalten Zone. Supan berechnet [195] die Grösse des Areales, bis an dessen Nordgrenze bislang Menschen vorgedrungen sind, als nahezu mit dem Doppelten der Grösse Europas übereinstimmend. Die mehrerwähnten Eiswälle (S. 538) verhinderten bisher fast jedes tiefere Eindringen, und so steht denn noch ungelöst die Frage da: Gibt es ein grösseres antarktisches Festland, oder sind die uns nach und nach bekannt gewordenen Festlandbruchstücke bloss als Teile isolierter Inselgruppen aufzufassen?

Mangels direkter Beobachtungen konnte gewiss der Versuch nicht getadelt werden, auf geologisch-konstruktivem Wege die Möglichkeit eines antarktischen Kontinentes festzustellen, da eben doch die Wahrnehmung, es sei sämtliches Eis der südlichsten Meere wesentlich von derselben Beschaffenheit, wie jenes, das im Norden als abgelöstes Binnenlandeis erkannt wurde, eine gewisse Wahrscheinlichkeit für solche Annahme darzubieten schien. Anknüpfend an die hypothetischen, älteren Erörterungen über das Austral-land, dessen Geschichte von Ruge [196] geschrieben worden ist, hatten in der Folgezeit, welche von jenen vagen Spekulationen nichts mehr wissen wollte, doch immer noch einzelne Gelehrte eine theoretische Klärung angestrebt. Schon Mercator verlangte einen Südpolarkontinent aus statischen Gründen [197]: „Haec omnia importat centri gravitas et mundi constitutio.“ Ueber diese ganz eigenartige Epoche der Geschichte der Erdkunde wird am besten Wisotzki [198] zu Rate gezogen; von ihm hören wir, dass Bergman [199] die Lage eines noch unbekannten Kontinentes geradezu nach dem Hebelgesetze berechnen zu dürfen glaubte, dass auch Forster [200] dieser schematischen Auffassung noch bis zu einem gewissen Grade huldigte, dass aber Kant [201] dieselbe bekämpfte. Immer und wieder wurde die Frage gestreift, ob nicht zur Festhaltung des Erdschwerpunktes in einer normalen Lage sich jeweils Kontinente in den Antipodengegenden gegenüberliegen müssten; insbesondere kommt hier Lamarcks geologisch wertvolle „Hydrogeologie“ [202] in Betracht, aus welcher A. Lang [203] Auszüge publiziert hat. Endgiltig Wandel geschaffen hat auf diesem Teile des Untersuchungsgebietes E. Schmidt [204], indem er mathematisch zeigte, dass in Wahrheit der Gewichtsunterschied beider Erdhalbkugeln, auch wenn man die südliche als eine reine Wasserhalbkugel voraussetze, verschwindend klein sei. Sollten die Gebirgsketten dem festen Lande Festigkeit erteilen, so müssten ihre Wurzeln bis in ganz unmögliche Tiefen hinabreichen [205]. Solche Betrachtungen waren es nicht, welche Reiter [206] leiteten, als er Gestalt und Grösse des antarktischen Kontinentes bestimmte, sondern er ging aus von den Prinzipien, welche E. Suess [207] in die Geodynamik eingeführt hatte; auf der Nordhemisphäre lässt sich orogenetisch und stratigraphisch,

wie Kap. II und V der achten Abteilung darzulegen haben werden, ein Zusammenhang distanter Gebirgszüge nachweisen, und mit eben diesem Grundgedanken wurde nun im Süden operiert. Reiter glaubte [208] in den erwähnten antarktischen Landfragmenten „Teile eines den Pazifischen Ozean im Süden begrenzenden Kettensystemes“ aufzeigen zu können. Für grundsätzlich berechtigt sollte dieser erste Versuch auch von denen erklärt werden, welche vorläufig die Möglichkeit des Gelingens leugnen; in der That hat sich aber eine sehr energische Gegnerschaft erhoben. Tietze [209] hat die Resultate Reiters vollinhaltlich bestritten, und Neumayer [210] stellte sich wesentlich auf den gleichen Standpunkt.

Aber auch von anderer Seite ist die Kontinentalhypothese, wie wir uns kurz ausdrücken wollen, nachdrücklich vertreten worden, so insbesondere von dem zu den ersten Autoritäten zählenden schottischen Geographen Murray [211]. Gestützt auf dessen Ausführungen, hat Babb [212] eine Karte der Terra incognita

Fig. 110.



australis entworfen, welche wir in Fig. 110 wiedergeben. Diese stellt alle bekannten Daten der antarktischen Entdeckungsgeschichte nach Kräften zusammen. Cook kam bis zu — 71° lat., wo er eine offene See fand; Biscoe entdeckte 1831 Graham- und Enderby-Land, aber viel weiter polwärts war der Robbenschläger Wedell schon 1823 gelangt. Die weiteren Phasen der langsam fortschreitenden Entdeckung lernt man am besten aus Frickers Werke [213] kennen. Nach Murrays Entwickelungen sind im Bereiche der antarktischen Länder vulkanische Emissionsprodukte häufig, wie denn die Feuerberge Erebus und Terror (I, S. 412) schon geraume Zeit dem eisernen Bestandteile der Erdkunde angehören [214], aber als integrierende Gesteine sind allenthalben die sehr alten (Abt. VIII, Kap. I), nämlich Granit und Gneis, erkannt worden, und dieser Umstand berechtigt ebenfalls zu der Annahme, dass die einzelnen so beschaffenen Parzellen unter sich zusammenhängen. Ganz ausser Zweifel steht, dass ein solcher Zusammenhang in der ältesten Zeit der Erdgeschichte obwaltete. Murray und Babb huldigen der Anschauung, dass das Australgebiet, um die Bezeichnung der geographischen Altvordern

beizubehalten, einen echten Kontinent darstellt, dessen hauptsächlichster Bestandteil der uralte Gneis ist, während neben diesem auch jüngere, Versteinerungen führende Sand- und Kalksteine konkurrieren.

Die Methode, aus mittelbaren Kennzeichen auf den Charakter eines direkter Erschliessung vorderhand entrückten Landes Schlüsse zu ziehen, ist so lange berechtigt, als ihr eben nichts Besseres substituiert werden kann. Aber die Verpflichtung, den unbekannten Erdteil durch den Augenschein kennen zu lernen, steht seit geraumer Zeit auf der Tagesordnung, und man darf hoffen, dass die Erreichung des Zieles am Schlusse des XIX. Jahrhunderts einigermassen näher gerückt ist. Airy hatte [215] schon vor geraumer Zeit darauf angetragen, dass die zur Beobachtung der Venusdurchgänge von 1874 und 1882 auszuschickenden — und nachher auch wirklich ausgeschickten — Expeditionen zugleich auch die Aufklärung der Verhältnisse des äussersten Südens ins Auge zu fassen hätten, und Neumayer ist nicht minder von je in gleichem Sinne thätig gewesen. Wesentlich ihm ist die durch v. d. Steinen auf dem Londoner Geographenkongresse vorgeschlagene und nach Befürwortung durch Hooker, Murray, Baden Powell, De Lapparent, Greeley und Cora mit Stimmeneinhelligkeit angenommene Resolution [216] zu danken: „Der zu London 1895 versammelte sechste Internationale Geographenkongress erklärt die Erforschung der antarktischen Regionen für das bedeutsamste der noch zu lösenden geographischen Probleme und empfiehlt, in Anbetracht der aus derselben voraussichtlich für alle Zweige der Wissenschaft sich ergebenden Vorteile, dass die verschiedenen gelehrten Gesellschaften der ganzen Welt auf dem ihnen am wirksamsten erscheinenden Wege danach trachten, diese Aufgabe vor Ablauf des XIX. Jahrhunderts gelöst zu sehen.“ Ist auch eine wörtliche Verwirklichung dieses Appells, der nur wärmer und entschiedener den Beschluss des Münchener Geographentages (1884) wiederholt, so gut wie ausgeschlossen, so darf doch die berechtigte Hoffnung laut werden, dass die ersten Jahre eines neuen Säkulums bereits einen gewichtigen Fortschritt auf dem noch so wenig bebauten Arbeitsfelde der Südpolarforschung zu verzeichnen haben werden.

Nach den verschiedensten Seiten hin hat unsere Wissenschaft Bereicherungen von einer genaueren Erforschung der noch unbetretenen Gebiete des fernen Südens zu erhoffen. Schon 1885 ist dem Hamburger Geographentage durch Ratzel und Penck ein diese Hoffnungen schärfer präzisierendes Referat [217] erstattet worden, und seitdem sind, nebst den schon erwähnten litterarischen Anregungen Neumayers, noch die programmatischen Abhandlungen Murrays [218] und v. Drygalskis [219] hinzugekommen. „Nach und nach bricht sich,“ so liess sich bei derselben Gelegenheit Neumayer [220] vernehmen, „die Ueberzeugung Bahn, dass ohne diese Forschung ein Fortschritt von weittragender Bedeutung in der Entwickelung unserer Kenntnis der erdmagnetischen Erscheinungen nicht möglich ist.“ Auch der Lehre von der Erdgestalt halber forderte schon damals Peters [221] ein Gleiches, und nachdem die Schlussabteilungen des grossartigen Werkes v. Drygalskis über Grönland [222] eine vorher nicht erwartete Geoiddeformation (I, S. 226) im hohen Norden wahrscheinlich gemacht haben, bedürfen die Verhältnisse der Abplattung auf der anderen Hemisphäre eines besonders eingehenden Studiums. Die ganz unzureichenden Mittel, über welche die Klimatologie bei der Beurteilung antarktischer Zustände annoch verfügt, kamen bereits (S. 297, 305) zur Sprache. Aber auch die Biologie steht den geplanten Unternehmungen nicht gleichgültig gegenüber; so wird der Planktonkunde (S. 391) voraussichtlich reicher Gewinn zuwachsen, und während die genauere Prüfung pflanzengeographischer Zusammenhänge auch für die Gegenwart schon, wie Neger [223] andeutete, wertvolle Einblicke in die dereinstige und frühere Verteilung von Wasser und Land erwarten lässt, muss es nach Engler [224] als eine besonders dankbare Aufgabe betrachtet werden, die pflanzlichen Versteinerungen der Antarktis für klimatologisch-paläontologische Folgerungen auszunützen, so wie dies Nathorsts Studie [225] „Beiträge der Polarforschung zur Pflanzengeographie der Vorzeit“ mit Glück für die Gegenden am entgegengesetzten Ende der Erdachse gethan hat.

Allen voran wird aber doch stets das Interesse an tieferer Ergründung der südlichen Eisverhältnisse stehen. Gerade aus dem Umstande, dass seit 1891 eine stets zunehmende Losringung der Treibeismassen von der antarktischen Zirkumpolarregion immer deutlicher

in die Erscheinung tritt [226], erscheint ein kräftiger Vorstoss längs des Meridianes der Kerguelen besonders aussichtsreich. Möge die erwünschte Gelegenheit nicht ungenützt vorübergehen!

[1] v. Boguslawski-Krümmel, Handbuch der Ozeanographie, I, Stuttgart 1883, S. 358. — [2] G. P. W., III, S. 140 ff. — [3] J. R. Forster, Geschichte der Entdeckungen und Schiffahrten im Norden, Frankfurt a. d. O. 1784, S. 326, 345. — [4] Crantz, Historie von Grönland, I, Barby-Leipzig 1765, S. 38 ff. — [5] Buffon, Histoire naturelle, ed. Flourens, I, Paris 1802, S. 313 ff. — [6] Lomonossow, Gedanken über den Ursprung der Eisberge der nordischen Meere, A. s. A. W. K., XXV, S. 37 ff. — [7] G. F. Parrot, Ueber das Gefrieren des Salzwassers, G. A. P., LVII, S. 144 ff. — [8] G. Forsters sämtliche Schriften, II, Leipzig 1843, S. 411. — [9] H. Weber, Die Entwickelung der physikalischen Geographie der Nordpolarländer, München 1898 (M. G. St., IV) S. 24. — [10] H. S., XIII, Introduction, S. CXXI. — [11] Otto, Abriss einer Naturgeschichte des Meeres, I, Berlin 1792, S. 127 ff. — [12] Ebenda, I, S. 139. — [13] J. R. Forster, a. a. O., S. 82 ff. — [14] Müllenhoff, Deutsche Altertumskunde, I, Berlin 1890. S. 411 ff.; Müllenhoff-Scherer, Denkmäler deutscher Poesie und Prosa aus dem VIII. bis XII. Jahrhundert, Berlin, S. 380 ff. — [15] Hoffmann von Fallersleben, Merigarto, Bruchstücke eines bisher unbekannten deutschen Gedichtes aus dem XI. Jahrhundert, Prag 1834. — [16] H. Berger, Die Entstehung der Lehre von den Polarzonen, G. Z., III, S. 335 ff. — [17] H. Weber, a. a. O., S. 7. — [18] Günther, Adam von Bremen, der erste deutsche Geograph, Prag 1894, S. 50. — [19] Weinhold, Die Polargegenden Europas nach den Darstellungen des deutschen Mittelalters, S. A. W., P. H., LXVIII, S. 793. — [20] J. Kohl, Die erste deutsche Entdeckungsreise zum Nordpol, Br. J., V, S. 174 ff. — [21] H. Weber, S. 52 ff. — [22] P. Egede, Nachrichten von Grönland, Kopenhagen 1790, S. 151. — [23] Th. v. Bayer, Ueber den Polarkreis, Leipzig 1889, S. 275. — [24] Weyprecht, Die Metamorphosen des Polareises, Wien 1879, S. 1 ff. — [25] A. E. v. Nordenskiöld, Grönland; seine Eiswüsten im Inneren und seine Ostküste, Leipzig 1886, S. 325. — [26] Helland, Ueber die Gletscher Nordgrönlands und die Bildung der Eisberge, Leipzig 1876. — [27] v. Drygalski, Grönlands Gletscher und Inlandeis, Z. G. E. B., XXVII, S. 35 ff. — [28] Rink, Die Eisdecke Grönlands als ein Rest der Glazialzeit unserer nördlichen Erdhälfte, H. E., III, S. 93 ff., 315 ff. — [29] v. Drygalski, a. a. O., S. 42; M. G., IV, S. 96 ff. — [30] Die Nordpolreisen Adolf Eriks v. Nordenskiöld 1858 bis 1879, Leipzig 1880, S. 147 ff. — [31] G. P. W., III, S. 146. — [32] Hayes-J. E. A. Martin, Das offene Polarmeer, Jena 1868, S. 46. — [33] Rosenberger, Die Geschichte der Physik in Grundzügen, II, Braunschweig 1884, S. 160. — [34] Poggendorff, Geschichte der Physik, Berlin 1879, S. 394. — [35] G. P. W., III, S. 114 ff. — [36] Hagenbach-Bischoff, Sprengwirkungen durch Eis, V. N. G. Bl., VII, S. 185 ff. — [37] Scoresby-Kries, Tagebuch einer Reise auf dem Walfischfang, Hamburg 1825, S. 107 ff. — [38] Ungewöhnliche Eismassen auf dem Atlantischen Ozean im Frühjahr 1841, A. P. C., LV, S. 639 ff. — [39] Pl. Heinrich, Pyrometrische Versuche über die Ausdehnung des Eises und der Holzkohle, München 1806; G. A. P., XXVI, S. 228 ff. — [40] Kane, Arktische Fahrten und Entdeckungen der zweiten Grinnell-Expedition zur Aufsuchung Sir John Franklins, Leipzig 1879, S. 143. — [41] v. Drygalski, S. 44. — [42] G. P. W., III, S. 148. — [43] G. Frank, Ueber eine starke Abnahme der Luft- und Wassertemperatur in der Nähe von Eisbergen, A. H. m. M., XVIII, S. 465. — [44] Pilot Chart of the North Atlantic Ocean, August 1896. — [45] Habenicht, Die Häufigkeit der Eisberge und Klimaschwankungen, A., LXV, S. 777 ff. — [46] Penck, Morphologie der Erdoberfläche, I, Stuttgart 1894, S. 513. — [47] Habenicht, Treibeis-Wettertheorie, M. E., I, S. 5. — [48] G. Hartmann, Der Einfluss des Treibeises auf die Bodengestalt der Polargebiete, W. V. V. E. L., I, S. 232 ff. — [49] Ebenda, S. 236 ff., 238 ff., 243 ff. — [50] Ebenda, S. 245 ff. — [51] J. Walther, Allgemeine Meereskunde, Leipzig 1893, S. 96 ff. — [52] Fricker, Die Entstehung und Verbreitung des antarktischen Treibeises, Leipzig 1893. — [53] Fricker, Antarktis, Berlin 1898, S. 191 ff. — [54] Fricker, Die Entstehung etc., S. 12. — [55] Ebenda, S. 15 ff. — [56] Fricker, Ant., S. 192. — [57] A. Paulsen, La banquise dans les mers à l'Est de Grönland et Spitzberg et dans le détroit de Davis, Kopenhagen 1895; K. J., III, S. 215 ff. — [58] Fricker, Ant., S. 151 ff., 172 ff. — [59] Ebenda, S. 168. — [60] Fricker, Die Entstehung etc., S. 118. — [61] Ebenda, S. 135. — [62] Ebenda, S. 142. — [63] N., XLVI, S. 160; A. H. m. M., XX, S. 221 ff. — [64] Fricker, Ant., S. 199, 201. — [65] Fricker, Die Entstehung etc., S. 149. — [66] Dinklage, Treibeis im Süden vom Kap der Guten Hoffnung und im Indischen Ozean, A. H. m. M., XXV, S. 190 ff. — [67] G. Schott, Eisberge im Indischen Ozean, Gl., LXXII, S. 12 ff. — [68] Zöppritz, Das Verhalten des Meerwassers in der Nähe des Gefrierpunktes und die Statik der Polarmeere, A. P. C., 5. Erg.-Bd., S. 508 ff. — [69] Otto, I, S. 133. — [70] Cranz, a. a. O., I, S. 31. — [71] G. P. W., III, S. 142. — [72] Albers, Amerikanische Annalen der Arzneikunde, Naturgeschichte, Chemie und Physik, I, Bremen 1802, S. 105 ff.; G. A. P., XI, S. 174. — [73] Comte de Saporta, La glace dans les mers polaires, R. S., 1884, S. 488 ff. — [74] Petterson, On the Properties of Water and Ice, Stockholm 1883. — [75] v. Boguslawski-Krümmel, I, S. 360 ff. — [76] Buchanan, Some Observations on Sea-Water Ice, P. R. S., 1874, S. 431 ff. — [77] Weyprecht, Die Metamorphosen des Polareises, Wien-Pest-Leipzig 1879, S. 43 ff. — [78] Kane, a. a. O., S. 199. — [79] Rosenberger, a. a. O., II, S. 163 ff. — [80] H. Schumacher, Die Krystallisation des Eises, Leipzig 1844. — [81] Moritz-H. Schumacher-Porth, Sur la dilatation de la glace d'après les expériences faites en 1845 et 1846 à Poulkova, St. Petersburg 1848. — [82] Brunner, Ueber Dichtigkeit des Eises bei verschiedenen Temperaturen, A. P. C., LXIV, S. 113 ff. — [83] Plücker-Geissler, Studien über Thermometrie und verwandte Gegenstände, A. P. C., LXXXVI, S. 238 ff. — [84] De Saporta, a. a. O., S. 482 ff. — [85] Ebenda, S. 486 ff. — [86] Bessels, Die amerikanische Nordpolexpedition, Leipzig 1879, S. 223, 298. — [87] Mairan, Dissertation de la glace, Bordeaux 1749; Abhandlung Von dem Eisse, Leipzig 1752, S. 215 ff. — [88] J. Weber, Eiskanonen und Eismörser in Schwaben, G. A. P., XI, S. 353. — [89] G. P. W., III, S. 12 ff. — [90] Bunsen, Kalorimetrische Untersuchungen; das Eiskalorimeter, A. P. C., CXLI, S. 1 ff.; A. s. p. n., 1871, S. 25 ff. — [91] v. Boguslawski-Krümmel, I, S. 363. — [92] Krafft, Wahrhaftige und umständliche Beschreibung und Abbildung des im Jahre 1740 in St. Petersburg aufgerichteten merkwürdigen Hauses von Eis, St. Petersburg 1741. — [93] G. P. W., XI, S. 123. — [94] Mairan, a. a. O., S. 234. — [95] Dalton, On the Power of Fluids to conduct Heat, M. M. S., V, 2, S. 373 ff.; G. A. P. XIV, S. 191 ff. — [96] P. Erman, Versuch einer physikalischen Theorie der Voltaschen Säule, G. A. P., XI, S. 166 ff.; Ueber die Fähigkeit der Flamme, der Knochen und des luftleeren Raumes, die Wirkungen der Voltaschen Säule zu leiten, Nachtrag, ebenda, XI, S. 166 ff. — [97] H. Weber, S. 94. — [98] Mairan, S. 240. — [99] Woeikow, Der Einfluss einer Schneedecke auf Boden, Klima und Wetter, Wien-Olmütz 1889 (P. G. A., III, 3)

S. 44 ff. — [100] G. P. W., III, S. 127. — [101] Scoppewer, Ueber Grundeis, Brandenburg 1859. — [102] Steenke, Schwimmende Ketten, G. A. P., XI, S. 332 ff. — [103] Plott, The Natural History of Oxfordshire, being an Essay towards the Natural History of England, Oxford 1705, S. 28. — [104] Mairan, S. 58. — [105] Péron, Ueber die Temperatur des Meerwassers an der Oberfläche und in verschiedenen Tiefen, sowohl an den Küsten, als in offener See, G. A. P., XIX, S. 443. — [106] v. Buch, Einige Bemerkungen gegen Folgerungen, welche Herr Péron aus seinen Versuchen über die Temperatur des Meerwassers zieht, G. A. P., XX, S. 341 ff. — [107] Hales, Vegetable Statics or an Account of some statical Experiments on the Sap in Vegetables, London 1727; App., S 398. — [108] Nollet, Mémoire sur la manière dont se forment les glaçons qui flottent sur les grandes rivières, H. A. P., 1743, S. 51 ff. — [109] Gehlers physikalisches Wörterbuch, 1. Auflage, I, Leipzig 1788, S. 676. — [110] Scoppewer, a. a. O., S. 5. — [111] Desmarest, Précis d'un mémoire sur le lieu et les autres circonstances de la formation des glaçons spongieux que les rivières charrient, J. Ph., XXII, S. 50 ff. — [112] F. A. Brauns, Wahrnehmungen über Grundeis, H. M. N., 1787, Nr. 20—22; Beobachtungen über Grundeis, A. P. C., XXVIII, S. 207 ff. — [113] G. P. W., III, S. 130 ff.; J. Ph., XXXIII, S. 68 ff.; ebenda, XXXIV, S. 387 ff.; P. Merian, Ueber die Bildung des Grundeises in Flüssen, A. a. s. G. N., II, S. 61 ff. — [114] Hugi, Notice sur la glace du fond des eaux courants, B. Un., XLI, S. 201 ff. — [115] Lichtenberg-Kries, Ueber Gegenstände der physischen Geographie, IV, Göttingen 1806, S. 317. — [116] Zschokke, Das Grundeis auf der Aare, V. N. G. B., 1855, S. 169 ff. — [117] P. Merian, Ueber die Gleichheit der Wärme fliessenden Wassers an der Oberfläche und am Grunde, N. J. M. G. P., 1837, S 690. — [118] Zschokke, a. a. O., S. 186. — [119] Arago, Annuaire pour l'an 1843, S. 244 ff. — [120] Gay-Lussac, Sur l'origine de la glace qu'on trouve des rivières, A. C. P., LXIII, S. 359 ff. — [121] Scoppewer, S. 15. — [122] Strehlke, Beobachtung von Grundeis in Berlin, A. P. C., XXVIII, S. 223 ff. — [123] Mohr, Ueber Grundeisbildung, A. P. C., XLIII, S. 527 ff. — [124] C. W. Weber, Die Entstehung des Grundeises, nach Erfahrungssätzen und physikalischen Regeln erläutert, Spandau 1856. — [125] Rae, Anchor-Ice, N., XXI, S. 538; XX, S. 54. — [126] Macdougall, Anchor-Ice. N., XXI, S. 612. — [127] Hegemann, Das Eis und die Strömungsverhältnisse des Bering-Meeres, der Bering-Strasse und des nördlich davon belegenen Eismeeres, A. H. m. H., XVIII, S. 428. — [128] H. Meier, Weiteres über Grund- und Siggeis, ebenda, XXII, S. 297 ff. — [129] G. Schott, Grundeis im Seewasser, ebenda, XXV, S. 72 ff.; K. J., VIII, S. 155 ff. — [130] v. Nordenskiöld, Die wissenschaftlichen Ergebnisse der Vega-Expedition, Leipzig s. a., S. 12, 671 — [131] Lothes, Eisverhältnisse der Danziger Bucht, sowie der unteren Weichsel, A. H. m. M., XIX, S. 278 ff. — [132] Weyprecht, a. a. O., S. 17 ff. — [133] Payer, Die österreichisch-ungarische Nordpolexpedition in den Jahren 1872—74, Wien 1876. — [134] Supan, Grundzüge der physischen Erdkunde, Leipzig 1896, S. 270. — [135] Nansen, In Schnee und Eis, I, Leipzig 1898, S. 46 ff. — [136] Bessels, a. a. O., S. 132. — [137] Ebenda, S. 405 ff. — [138] Kane, a. a. O., S. 163 ff.; Hayes-Martin, a. a. O., S. 248 ff. — [139] Ebenda, S. 271. — [140] Nansen, a. a. O., II, S. 71 82, 132; III, S. 329 ff. — [141] Weyprecht, S. 77 ff. — [142] Friedrich, Ueber Niederschläge und Schneelagerung in der Arktis, W. V. V. E. L., I, S. 93 ff. — [143] Ebenda, S. 133 ff. — [144] Ebenda, S. 145 ff. — [145] Weyprecht, S. 117 ff. — [146] Ebenda, S. 203 ff. — [147] Hartmann, a. a. O., S. 208 ff. — [148] Goebeler, Besprechung zu dieser Abhandlung, A., LV, S. 64. — [149] Weyprecht, S. 209. — [150] Bessels, S. 417, 441. — [151] Peary, The North Greenland Expedition, J. A. G. S. 1895, S. 300 ff.; Salisbury, The Greenland Expedition of 1895, J. Gl., III, S. 875 ff. — [152] Nares, The Official Report of the recent Arctic Expedition, London 1877, S. 86; Chavanne, Die englische Nordpolexpedition 1875/76 unter Kapitän Nares und ihre Resultate, Wien-Pest-Leipzig 1877. — [153] Weyprecht, S. 274. — [154] Handbuch der Ozeanographie und maritimen Meteorologie, I, Wien 1883, S. 332 ff. — [155] E. De Beaumont, Ueber die Temperatur der Erdoberfläche in der Tertiärperiode, N. J. M. G. P., 1837, S. 63 ff. — [156] Adams von Bremen Hamburgische Kirchengeschichte, nach der Ausgabe der Monumenta Germaniae übersetzt von Laurent, Berlin 1850, S. 221 ff. — [157] H. Weber, S. 56 ff.; Olafsen-Povelsen, Reise durch Island, Kopenhagen-Leipzig, I, 1774, S. 275 ff. — [158] Otto, I, S. 140. — [159] Thoroddsen-A. Gebhardt, Geschichte der isländischen Geographie, I, Leipzig 1897. — [160] v. Wrangel-v. Engelhardt, Reise längs der Nordküste von Sibirien und auf dem Eismeere in den Jahren 1820—24, Berlin 1839; v. Engelhardt, Ferdinand v. Wrangel und seine Reise längs der Nordküste auf dem Eismeere, Leipzig 1885. — [161] Weyprecht, S. 50 ff. — [162] Die Nordpolreisen Adolf Erik Nordenskiöld 1858 bis 1879, Leipzig 1880, S. 141 ff. — [163] v. Boguslawski-Krümmel, I, S. 369 ff.; Meteorologische und physisch-ozeanographische Beobachtungen im amerikanisch-arktischen Archipel, ausgeführt von verschiedenen englischen arktischen Expeditionen in den Jahren 1819 bis 1854, A. H. m. M., XI, S. 395 ff., 509 ff. — [164] Dorst, Die Eisbewegung im Grönländischen Meere für 1869, aufgenommen an Bord des Rosenthalschen Dampfers „Bienenkorb“, P. G. M., XXIII, S. 174 ff. — [165] v. Boguslawski-Krümmel, I, S. 379 ff. — [166] v. Heuglin, Reisen nach dem Nordpolarmeere in den Jahren 1870 und 1871, I, Brauschweig 1872, S. 146. — [167] Bessels, S. 130. — [168] Nansen, II, a. v. St. — [169] H. Weber, S. 45. — [170] G. P. W., III, S. 149. — [171] Hayes-Martin, S. 299. — [172] Scoresby-Kries, S. 104. — [173] Otto, I, S. 120. — [174] G. P. W., III, S. 150. — [175] Wolfert, Das Nordlicht, eine weder magnetische noch elektrische Erscheinung, P. G. M., XVIII, S. 228 ff. — [176] Baruffi-Curtze, Der Senator Baron Plana, A. M. P., L. B, CLXIV, S. 4. — [177] Koldewey, Die erste deutsche Nordpolexpedition 1869, P. G. M., E. H. Nr. 28. — [178] A. Petermann, Die erste deutsche Nordpolexpedition, Gotha 1868. — [179] Börgen, Die alte Frage nach dem offenen Polarmeer, M. Z., II, S. 149. — [180] Bessels, S. 189. — [181] Kane, S. 183. — [182] Rachel, Aus Amerika, G., XX, S. 648. — [183] Janko, Der Golfstrom in der Nähe der Küste des europäischen Russlands und im Barents-Meere, A. H. m. M., XXV, S. 215 ff. — [184] v. Schleinitz, Ueber die in Hamburg, Oktober 1879, geplante Polarforschung, V. G. E. B., VII, S. 206 ff. — [185] S. Ruge, Geschichte des Zeitalters der Entdeckungen, Berlin 1881, S. 270. — [186] Ebenda, S. 499 ff. — [187] Skewes, Sir John Franklin, the Secret of the Discovery of his Fate, London 1889. — [188] Mac Clintock, The Voyage of the „Fox“ in the Arctic Sea, London 1859; Osborn, The Discovery of the North-West-Passage, London 1856. — [189] Müller-Dumas, Voyages et découvertes faites par les Russes, Amsterdam 1766. — [190] v. Nordenskiöld, Die Umsegelung Asiens und Europas auf der „Vega“, Leipzig 1882. — [191] v. Nordenskiöld, Die wissenschaftlichen Ergebnisse etc., S. 642 ff. — [192] Ebenda, S. 19. — [193] Embacher, Lexikon der Reisen und Entdeckungen, Leipzig 1882. — [194] Voll, Expéditions polaires, B. S. C. B., (2) XVIII, S. 103 ff. — [195] Supan, Unbekannte Polargebiete; kurze Betrachtungen zur Karte der Grenzen der unbekannten Polargebiete, P. G. M., XLIII, S. 15 ff. — [196] S. Ruge, Das unbekannte Südland, D. G. Bl., XVIII, S. 147 ff. — [197] G. Mercator-Hondius, Atlas sive cosmographicae meditationes de fabrica mundi, Amsterdam 1606, fol. 22. — [198] Wisotzki, Die Verteilung von Wasser und Land auf der Erdoberfläche, Königsberg 1879, S. 30 ff. — [199] Bergman-Röhl, Physische Beschreibung der Erdkugel, I, Greifswald 1780, S. 18 ff. — [200] J. R. Forster-G. Forster, Bemerkungen auf einer Reise um die Welt, Berlin 1783, S. 58 ff. — [201] Kant-W. F.-Schubert,

Schriften zur physischen Geographie, Leipzig 1839, S. 436. — [202] Lamarck, Hydrogéologie ou recherches sur l'influence qu'ont les eaux sur la surface du globe terrestre, Paris 1802, S. 26 ff. — [203] A. Lang, Lamarck und Darwin, ein Beitrag zur Geschichte der Entwickelungslehre, Km., I, S. 246 ff. — [204] E. Schmidt, Lehrbuch der mathematischen und physischen Geographie, II, Göttingen 1830, S. 21 ff. - [205] Ebenda, II, S. 25. — [206] Reiter, Die Südpolarfrage und ihre Bedeutung für die genetische Gliederung der Erdoberfläche, Z. w. G., VI, S. 1 ff. — [207] E. Suess, Das Antlitz der Erde, I, Prag-Leipzig 1885. — [208] Reiter, a. a. O., S. 21. — [209] Tietze, Ueber H. Reiters Aufsatz, betreffend die Südpolarfrage und ihre Bedeutung, V. G. R., 1887, Nr. 4. — [210] Neumayer, Ueber Südpolarforschung, London 1895 (Ber. d. VI. Int. Geogr.-Kongr.), S. 30 ff. — [211] Murray, The Exploration of the Antarctic Regions, Sc. G. M., II, S. 527 ff. — [212] Babb, The Antarctic Continent, N. G. M., VI, S. 217 ff. — [213] Fricker, Antarkt., S. 48 ff. — [214] Ebenda, S. 157 ff. — [215] Airy, The Transits of Venus 1874 and 1882; On the Preparatory Arrangements for the Observation of the Transit, M. N. A. S., XXIX, Nr. 2. — [216] Neumayer, Thätigkeitsbericht der Deutschen Kommission für die Südpolarforschung seit ihrer Gründung am 19. April 1895 bis zum XII. Deutschen Geographentage in Jena, Berlin 1897, S. 6. — [217] Ratzel, Aufgaben geographischer Forschung in der Antarktis, V. V. D. G., S. 8 ff.; Penck, Die erdgeschichtliche Bedeutung der Südpolarforschung, ebenda, S. 25 ff. — [218] Murray, The scientific Value of an Antarctic Expedition, P. R. S., 1898, S. 424 ff.; N. R., XIII, Nr. 23 u. 24. — [219] v. Drygalski, Die Ergebnisse der Südpolarforschung und die Aufgaben der deutschen Südpolarexpedition, Berlin 1898; Die Aufgaben der Forschung am Nordpol und Südpol, G. Z., IV, S. 121 ff. — [220] Neumayer, Notwendigkeit und Durchführbarkeit der antarktischen Forschung vom Standpunkte der geophysikalischen Wissenschaften, insbesondere des Erdmagnetismus und der Meteorologie, V. V. D. G., S. 186 ff. — [221] C. F. W. Peters, Die Bedeutung der antarktischen Forschung für die Geodäsie, ebenda, S. 44 ff. — [222] v. Drygalski, Gröndlandexpedition der Gesellschaft für Erdkunde zu Berlin 1891 bis 1893, II, Berlin 1897. — [223] Neger, Die Bedeutung antarktischer Forschungen für die Pflanzengeographie, F. N. Z., 1898, S. 333 ff. — [224] Engler, Versuch einer Entwickelungsgeschichte der Pflanzenwelt, II, Leipzig 1882, S. 147. — [225] v. Nordenskiöld, Studien und Forschungen, veranlasst durch meine Reisen im hohen Norden, Leipzig 1885, S. 219 ff. — [226] v. Drygalski, Die Aufgaben etc., S. 131 ff.; Supan, Warum sind gerade die nächsten Jahre für eine antarktische Expedition am günstigsten?, P. G. M., XLIV, S. 68 ff.; F. G. Hahn, Die Bedeutung der Südpolarforschung, H. E., IX, S. 193 ff.

Siebente Abteilung.

Dynamische Wechselbeziehungen zwischen Meer und Land.

Kapitel I.

Vertikale Verschiebungen der Küstenlinie.

§. 1. Niveauveränderungen im allgemeinen. Seit den ältesten Zeiten drängte sich dem Menschen, der einen offenen Blick für die ihn umgebende Natur besass, die Erkenntnis auf, dass die Grenzen des festen und flüssigen Elementes auf der Erdoberfläche keine festen, sondern sehr wandelbare sind. Wo heute Festland ist, da befand sich früher Meer, und umgekehrt hat das Meer Gegenden überflutet, in denen dereinst Menschen wohnten. So war denn schon im Altertum von Veränderungen der Küstenlinie mehrfach die Rede, und jede Erweiterung des geographischen Gesichtskreises fügte zu den bekannten Thatsachen neue hinzu.

Aus der Bodenbeschaffenheit Aegyptens hatte man bereits vor Herodot die Folgerung gezogen, dass dieses Land ein durch die Sinkstoffe des Nils ausgefüllter Meeresteil gewesen sei [1], und dieser grosse Geschichtschreiber führte nur — ebenso wie nach ihm Aristoteles — weiter aus, was ohnehin von allen Unterrichteten für wahr gehalten wurde [2]. Die Petrefaktenfunde des Xanthus (I, S. 3) wurden nach Strabon [3] frühzeitig im gleichen Sinne gedeutet („τὰ πεδία ποτὲ θάλατταν γενέσθαι"). Erathostenes kam systematisch auf diesen Wechsel von Land und Meer zurück [4], indem er zumal an Aristoteles und an die kühnen Spekulationen des Lampsaceners Straton anknüpfte. Dieser geniale Mann, den die Alten schlechtweg den „Physiker" nannten, und der von Diels [5] als der wahre Schöpfer des selbst noch von Galilei nicht ausgemerzten Begriffes des „Horror vacui" (S. 55) erkannt ward, bildete die Theorie der Durchbrechung schmaler Landverbindungen durch überfüllte Meere ganz einheitlich aus und verhalf dadurch den im Griechenvolke lebenden Anschauungen von der Variabilität der Meeresgrenze zum nicht mehr bestrittenen Siege. So gerne Strabon an Eratosthenes Kritik übt, tritt er bei dieser Frage doch zu dessen Gunsten gegen den Zweifler Hipparch ein, indem er allerdings seine eigene Auffassung voranstellt; die Aeusserung über das Sinken des Spiegels im Mittelländischen Meere, welche durch den Durchbruch der Landbrücke zwischen Afrika und Europa bewirkt worden sein soll, ist so charakteristisch, dass sie nach Grosskurds trefflicher Uebersetzung [6] hier ihren Platz finden möge: „Ich nun nehme es so, dass die Sümpfe dem Roten Meere nahten, als die Enge bei den Säulen des Herkules noch verschlossen war, dass aber, als diese durchbrach und unser Meer durch seinen Ausfluss bei den Säulen sank, auch der Sümpfe Abzug erfolgte." Seneca, der

sich über die angedeutete Metamorphose vollkommen klar war, wollte bloss sekundäre Agentien der Landhebung und Landsenkung anerkennen, während er dem Meere, dessen Oberfläche in der Hauptsache immer die gleiche sei, eine stabile Rolle zuteilte [7]. — Das Mittelalter verbleibt, bei aller Divergenz in den Grundvorstellungen, auf den Pfaden der Antike. Albertus Magnus schreibt in seinem Traktate „De meteoris", „dass abwechselnd Teile der Ländermassen unter Wasser versänken und wieder aufstiegen [8], wobei er nach Kretschmers Citaten [9] sich auf patristische Belege stützen durfte; Ristoros Lehre von der Gebirgsbildung [10] läuft im grossen und ganzen auf denselben Grundgedanken hinaus, indem nur (vgl. I, S. 12) in dem hierher gehörigen Kapitel — „Di sapere se la virtù del cielo avrà levata la terra sopra l'acqua, o avrà rimosa o cessata l'acqua da quella parte de la terra, la quale si truova scoperta" — der gestirnte Himmel als Hauptursache des Wechsels von Wasser und trockenem Lande angesprochen wird. Dass dieser Ausweg seiner Zeit Beifall fand, scheint u. a. daraus hervorzugehen, dass Capuanus de Manfredonia eine ausdrückliche Widerlegung für nötig hielt [11]. Jedenfalls also zieht sich durch Altertum und Mittelalter die Lehre von der Inkonstanz des Meeresniveaus wie ein roter Faden hin; man wusste, dass die Niveau- oder Küstenlinie, längs deren Wasser und Land aneinander grenzen, sich bald nach oben, bald nach unten verschob, dass hier Landgewinn, dort Landverlust aus den alternierenden Bewegungen jener Grenzlinie resultieren konnte. Gegenstand exaktwissenschaftlicher Behandlung aber ist dieser Teil der physikalischen Geographie erst im XVIII. Jahrhundert geworden, als die an den skandinavischen Küsten hervorgetretenen Erscheinungen die Aufmerksamkeit ernster Forscher mit Macht auf sich lenkten.

In neuerer Zeit bildete sich ein selbständiges Kapitel unseres Wissenszweiges heraus, das auch eine feste Stelle im Systeme und eine dem entsprechende Behandlung erheischte. Ein solche liess F. G. Hahn der Sache in seiner Habilitationsschrift [12] angedeihen. Nächstdem sind für die prinzipielle Seite zwei Abhandlungen von Sieger [13] und Ricchieri [14] beizuziehen, deren erstere zwar anscheinend bloss ein spezielles Problem ins Auge fasst, thatsächlich aber auch für die allgemeinen Fragen von hoher Bedeutung ist. Aeusserst eingehend ist auch die Darstellung in dem grossen Werke von E. Suess, für dessen zweiten Band [15] die Wechsellagerung von Land und Wasser das beherrschende Zentrum bildet. Ueberhaupt gibt es kein mit physischer Erdkunde sich beschäftigendes Werk, welches diesem Untersuchungsgebiete teilnamlos gegenüberstände. Von Erzeugnissen fremder Litteratur verdient noch die sorgfältige, zunächst von den Erscheinungen an der ligurischen Küste ausgehende Studie Issels [16] Beachtung. Als eine sehr verwendbare, auch durch gute Kritik dem Bearbeiter Dienste leistende Materialiensammlung ist eine Schrift von Köpert [17], als ein gedankenreicher, wennschon in den Thatsachen vielfach überholter Versuch umfassender Erörterung Peschels Aufsatz [18] „Ueber das Aufsteigen und Sinken der Küsten" zu nennen. Letzteren hat Leipoldt [19], einigermassen überarbeitet, in seine Ausgabe der Peschelschen Vorträge aufgenommen.

Es wird zunächst unsere Sache sein, eine passende Terminologie auszumitteln, welche die vorkommenden Erscheinungen korrekt und objektiv, ohne Voreingenommenheit für eine bestimmte Auffassung, zu kennzeichnen geeignet ist. Die Küstenlinie verschiebt sich, so viel steht fest, aber wir können einstweilen nicht angeben, welcher von den beiden in Betracht kommenden Faktoren, Wasser und Land, der aktive und welcher der passive ist. Es handelt sich vielleicht um eine Bewegung der Erdfeste, um ein Auf- und Abwärtssteigen der Küsten, vielleicht aber auch um eine Bewegung der Meere, um ein Sinken oder Steigen des Wassers. Da ist denn eine neutrale Bezeichnungsweise vorzuziehen. Man kann (s. o.) von Landgewinn und Landverlust sprechen, wie dies z. B. bei Fig. 112 geschehen ist, wobei allerdings die von Sieger [20] in dieser Hinsicht gemachte Bemerkung zu beachten ist. E. Suess schlug [21], nach Chambers [22], ein geometrisches Auskunftsmittel vor. Für jede auf einen Erdhalbmesser vorgenommene Abscissenmessung ist das Erd-

zentrum der natürliche Nullpunkt; positiv heisst somit die Verschiebung einer Horizontallinie, wenn sich dieselbe vom Mittelpunkte weg bewegt, und negativ, wenn sie sich auf diesen hin bewegt. Landgewinn deckt sich mit negativer, Landverlust mit positiver Niveauverlegung; diese Definition ist derjenigen, welche bloss mit den Interessen des Festlandes rechnete [23], entschieden vorzuziehen. Um jedoch den Mangel sinnlicher Begleitvorstellungen auszugleichen, rät Supan [24] die Worte kontinentale Strandverschiebung und marine Strandverschiebung an, welche bezüglich mit Landgewinn und Landverlust gleichbedeutend sind. Für die Gesamtheit dieser Verlegungen ist Issels (s. o.) Bezeichnung als bradyseismische Bewegungen (I, S. 436; βραδύς, langsam) eine ganz zweckmässige.

§. 2. **Die Kennzeichen kontinentaler Niveauverschiebung.** Nachdem eine Verständigung über die Ausdrücke erzielt ist, welche ohne Zweideutigkeit die beobachteten Bewegungen der Wasserlinie ausdrücken lassen, haben wir uns weiter zu fragen: Woran erkennt man, da doch in kleineren Zeiträumen die Verschiebung eine kaum merkliche zu sein pflegt, eine solche nach der einen oder anderen Richtung? Der Aufgabe, Kriterien dieser Art ausfindig zu machen, haben sich Hahn und v. Richthofen [25] besonders eifrig angenommen, und wir wollen zunächst diejenigen kennen lernen [26], welche einen Gewinn an Land ersichtlich machen.

Nicht selten ist derselbe so beträchtlich, dass es kaum des forschenden Auges bedarf, um ihn wahrzunehmen. Verweilen wir zunächst, um die Begriffe zu fixieren, bei den Flachküsten. Es können sich da Strandseen und, nach deren Austrocknung, salzhaltige Küstenebenen bilden; es kann der Lauf der Flüsse eine Aenderung erfahren. Wie dies geschieht, darüber gibt insbesondere v. Richthofen [27] genaue Auskunft; im allgemeinen wird man an einer Flussmündung die kontinentale Verschiebung weniger leicht als die marine zu konstatieren vermögen. Meeresgeschiebe, Rollsteine, Tangansammlungen, Ueberreste von Tieren, welche nur im Salzwasser leben können, gehören auch für die Flachküste zu den brauchbaren Kriterien. Ungleich zuverlässiger werden diese, wenn es sich um Betrachtung von Steilküsten handelt. Gehobene Muschelbänke lassen keinen Zweifel darüber, dass an der von ihnen eingenommenen Stelle dereinst sich Wasser befand. So treten nach Blanckenhorn [28] an den Randgebirgen der algerischen Provinz Constantine Schichten mit deutlich erkennbaren Lagen von Muscheltrümmern in einer durchschnittlichen Höhe von 40 m über dem heutigen Meeresspiegel hervor, während sich in grösserer Höhe nur noch Ueberreste von Landschnecken vorfinden. Die fluviatilen Ablagerungen an der benachbarten marokkanischen Küste lassen sich mit dem, was in Algerien beobachtet ward, recht gut zu einem Gesamtbilde vereinigen. Horizontale Ansammlungen von sogenanntem Blasentang gaben Bravais ein Mittel an die Hand, die dereinstige Meereshöhe an den steilen Felsküsten norwegischer Fjorde zu bestimmen [29]. Ueber die wichtige Rolle, welche Korallenbauten bei der Beobachtung alter Niveaulinien spielen können, wird in Kap. III das Nähere mitgeteilt werden. Das Erscheinen neuer Klippen im Küstenwasser, welche früher verdeckt waren, wird dann, wenn die richtige Kritik obwaltet, gleichfalls nicht zu vernachlässigen sein [30]. Am meisten Gewicht wird der Kenner jedoch auf das Vorkommen von Strandlinien und Strandterrassen (norwegisch Seter) legen. Wie wir uns dieselben entstanden zu denken haben, dies zu zeigen ist die Aufgabe von Kap. II. „Sie finden sich besonders," das sind die Worte v. Richthofens [31], „an höher aufragenden Felsküsten. An ihnen zeichnet sich ein alter Strand als eine mehr oder weniger ausgeprägte Stufe, welche in annähernd gleich bleibender Höhe über dem Meere eine sich lang hinziehende Unterbrechung in der Stetigkeit der Küstenabfälle bildet." Liegt nur ein nicht tiefer Einschnitt in die Uferfelsen vor, so reicht der Name Strandlinie aus, während dann, wenn wir ein stufenförmiges Aufsteigen der

Küste, eine Unterbrechung der Böschungen durch fast horizontale Flächen konstatieren, von Strandterrassen gesprochen wird. Es kann sich dergleichen wohl auch an einer Küste aus Sand oder weichem Gesteine herausbilden, allein dann sind die Spuren der erodierenden Aktion des Wassers nicht dauerhaft und werden rasch wieder verwischt. Da die erwähnte Erscheinung kaum irgendwie sonst auf der Erde mit solcher Reinheit und Deutlichkeit zu erblicken ist, wie an den norwegischen Fjordküsten, so sind auch die Arbeiten dortiger Forscher die beste Quelle alles einschlägigen Wissens; Mohn [32] und Pettersen [33] sind in diesem Sinne thätig gewesen, und in Deutschland hat sich R. Lehmann [34] durch Sammlung und Bearbeitung dieser Materialien ein entschiedenes Verdienst erworben. Strenger Parallelismus gegenüber der momentanen Wasserlinie ist nicht nachweisbar, wie neben Bravais (s. o.) auch Chambers [35] und, in sehr umfassender Untersuchung, Hansen [36] dargethan haben. Auch sind die Seter durchweg auf die Meereseinschnitte beschränkt, fehlen aber, wie zumal Penck [37] betont, der freien Meeresküste. In Fig. 111 ist nach Lehmann (s. o.) eine doppelte Strandlinie am Sarabyfjeld abgebildet, und zwar erhebt sich die untere Linie 21, die obere 48 m über den Meeresspiegel der Gegenwart. Ein typisches Terrassierungsbild hat Kjerulf [38] so gezeichnet, wie es Fig. 112 wiedergibt. Wir erkennen, durch die Zahlen I, II, III, IV, V markiert, d einzelnen Terrassen, deren Oberflächen sich teilweise als einfache Strandlinien fortsetzen; Stufe V befindet sich bereits unter dem Wasser. Ein Fluss, dessen Oberflächenschnitt mit der Felsküste sich als gestrichelte Linie in der Figur darstellt, hat die teilweise Zerstörung der Terrassen bewirkt. Wie wir auch (s. o.) diese Bildungen uns erklären mögen, so viel steht gewiss fest: Dieselben sind alte Wasserstandsmarken und als solche ein untrüglicher Beweis für eine ruckweise fortgeschrittene negative Verschiebung der Küstenlinie.

Fig. 111.

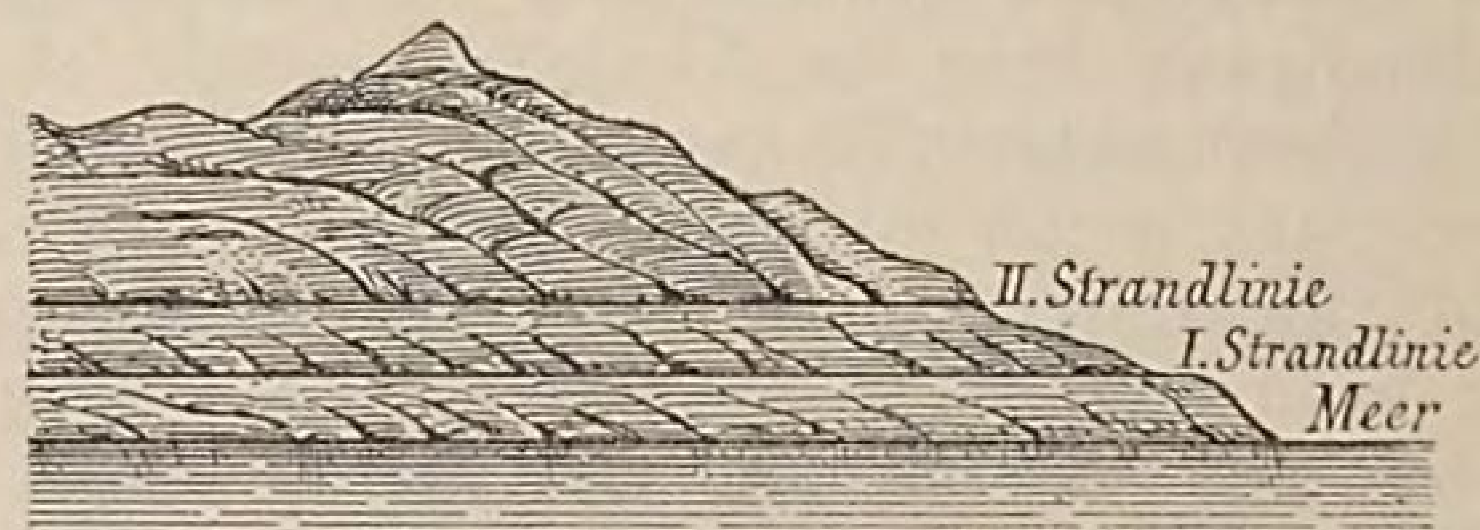
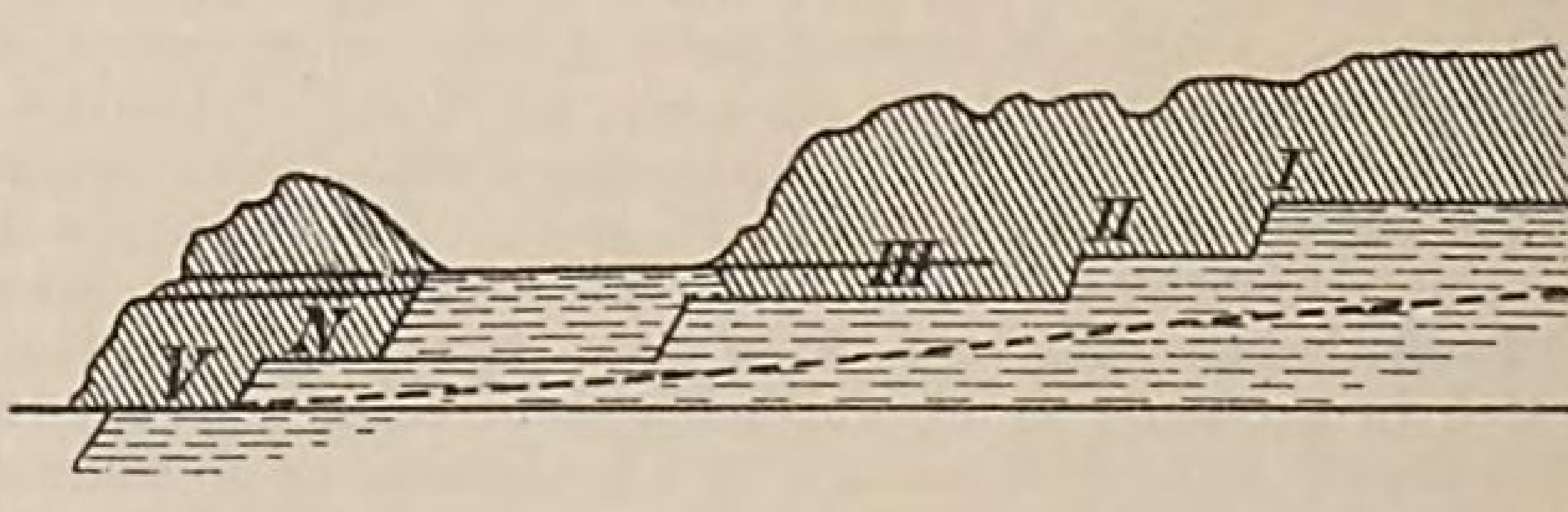


Fig. 112.



Die hie und da zu findenden Spuren menschlicher Thätigkeit können sekundär gewiss auch zur Bekräftigung einer schon auf anderweite Weise erkannten Kontinentalverlegung dienen, müssen aber immer mit etwas argwöhnischem Auge betrachtet werden. Schiffsgerätschaften, Anker, ganze Boote sind schon im Binnenlande aufgefunden worden, allein dabei, dass mit diesen Dingen eine solch unnatürlich erscheinende Ortsveränderung vorgenommen ward, kann doch auch der freie Wille des Menschen mitgewirkt haben. Am wertvollsten ist die Entdeckung prähistorischer Speiseresthaufen (dänisch Kjökkenmöddinger, in Brasilien Sambaquis) in einiger Entfernung vom rezenten Meeresufer; man darf sich nämlich gemäss den bahnbrechenden Forschungen Steenstrups und anderer Anthropologen [39] versichert halten, dass diese Kehrichtanhäufungen, in denen die Ueberreste von Seetieren vorwiegen, sich stets in nächster Nähe des Nahrung spenden-

den Meeres befanden. Die jütischen Kjökkenmöddinger lassen darüber keinen Zweifel.

Das grösste Mass von Gewissheit wird selbstredend dann erzielt werden, wenn es gelingt, absichtlich in den Küstenfels eingegrabene Niveaumarken aus älterer und neuerer Zeit direkt miteinander zu vergleichen. Nach dieser Seite hin haben besonders die schwedischen Küsten einen klassischen Ruf erlangt. Was vorher und an anderen Orten Gegenstand blosser Mutmassung gewesen war, wurde an der Nordküste der Ostsee zur unumstösslichen Thatsache erhoben. Es ziemt sich auch für uns, diesen in der Geschichte der Geophysik mit Recht berühmten Vorgang genauer zu erörtern.

Obwohl an sich schärfster Gegner der Lehre von der Erhebung des Landes aus dem Meere, hat doch v. Hoff, dieser verdiente Chronist der Morphologie der Erdoberfläche, die vorhandenen Nachrichten mit grossem Fleisse gesammelt [40], und auch Suess ist darauf des näheren eingegangen [41]. Nach Ricchieri [42] soll um 1600 ein Finnländer Erich zuerst auf einen Meeresrückgang hingewiesen haben, aber erst durch den schwedischen Physiker Hjärne soll eine Kontrolle der Küstenbewegung durch eingehauene Marken erfolgt sein [43]. Der bekannte Swedenborg [44] knüpfte daran sehr bestimmte Schlüsse über ein ungleichförmiges Zurückweichen des Meeres, und auf den gleichen Boden trat A. Celsius, der bei einer Bereisung der Ostseeküste bis hinauf nach Torneå untrügliche Zeichen fortschreitender Wasserentblössung der Küstenbezirke aufgefunden und sich auch, gleichwie Hjärne (s. o.), um messende Kontrolle dieses Vorganges bemüht hatte [45]. Die zuerst 1731 eingemeisselten Zeichen wurden 1752, 1755 und 1785 nachgemessen; stets waren sie höher hinaufgerückt gefunden worden, und diesen Umstand deuteten sowohl Celsius selbst, wie auch Linné [46] und Chydenius [47] auf eine Verminderung der baltischen Wassermengen. Der hiemit inszenierte wissenschaftliche Streit wurde sehr lebhaft, denn die Mehrzahl der damals lebenden skandinavischen Gelehrten neigte einer entgegengesetzten Auffassung zu, und Muncke führt als Widerparte des Celsius nicht weniger denn neun Autornamen an [48]. Der gefährlichste unter diesen Gegnern war Browallius [49], in dessen Schrift wirklich manche Thatsachen besprochen werden, welche sich mit der Hypothese des Celsius nicht recht vereinbaren zu lassen schienen. Sodann brachte einen einstweiligen Abschluss die Schrift Nordenankars [50], deren Wert für die hier obschwebende Angelegenheit Suess [51] sehr hoch einschätzt, während allerdings Wisotzki [52] mehr von derselben erwartet zu haben erklärt, als sie ihm zu bieten im stande war. Mit einer Landhebung identifizierten den Prozess Jessen [53], v. Buch [54] und Lyell [55], so dass nunmehr, nachdem die berufensten geologischen Autoritäten ihr Votum abgegeben hatten, ein längerer Stillstand in der Diskussion eintrat. Auch die im nördlichsten Teile von Europa anlässlich der Fahrt der „Recherche" von Robert [56] angestellten Untersuchungen bestätigten Thatsache und Erklärungsweise, indem zugleich, was allerdings in dieser Allgemeinheit nicht zutrifft, auf die relative Neutralität südlicherer Breiten der Nordhalbkugel aufmerksam gemacht wurde. In den Aequatorialgegenden sei das Phänomen der Küstenerhebung nur undeutlich zu erkennen, und seine bestimmteste Ausprägung zeige sich gegen den Pol hin. — Die Ostsee bot auch sonst manch wertvollen Beobachtungsstoff in der uns hier beschäftigenden Frage. Dahin gehören die Einrahmung der schwedischen Küste durch wild zerrissene Felsinseln, die man Scheren (Skjären) nennt [57], dahin auch die gerade hier häufigen prähistorischen Funde (s. o.). Schon im XVIII. Jahrhundert hat man, wie Dalin erzählt [58], alte Wikingerschiffe in beträchtlicher Entfernung vom Ufer ausgegraben, und auch unsere Zeit bereichert noch fortwährend die Museen mit Fundstücken dieser Art.

Auch im Bereiche anderer Uferränder hatte man mittlerweile die Bemerkung gemacht, dass Küsten in progressiver Bewegung nach oben begriffen zu sein schienen. Am umfassendsten hatte die Terrassenbildungen der nördlichen Hemisphäre Chambers studiert, der aber am Schlusse seiner Darlegungen ausdrücklich davor warnte [59], jede der-

artige Spur ehemaliger Thätigkeit der Meereswogen einer ganz bestimmten Landhebung zuzuschreiben. An anderen Orten glaubte man ebenso unzweideutige Anzeichen eines fortschreitenden Absinkens der Küsten nachgewiesen zu haben, und in Frisis Abhandlung [60] „De aucta imminuta marium altitudine“, deren Titel schon auf eine alternierende Meeresbewegung zu beziehen ist, war die Behauptung aufgestellt worden: In den nördlichen europäischen Meeren sinkt der Spiegel unausgesetzt, und ebenso steigt er im Mittelländischen Meere.

§. 3. **Die Kennzeichen mariner Niveauverschiebung.** Mit Recht bemerkt v. Fritsch [61], dass positive Verlegungen der Wasserlinie weit schwieriger mit Schärfe festzustellen seien, als negative, und dass strenge genommen nur einem einzigen Beweismittel durchschlagende Kraft beizumessen sei: Wenn nämlich menschliche Bauwerke vom Meere bedeckt erscheinen. Denn dass man nicht absichtlich unter Wasser gebaut haben wird, ist allerdings mit voller Sicherheit anzunehmen. Die übrigen indirekten Kennzeichen hat widerum die Schrift von Hahn [62], betreffs deren auch die Erinnerungen von Krümmel [63] verglichen werden können, eingehend gewürdigt.

Eine von sehr starken zerstörenden Angriffen des Meeres zeugende Küste ist von vornherein dem Verdachte mariner Bewegung ausgesetzt. Zerrissene Flachküsten gewähren meist einen Anhaltspunkt, während glatte Flachküsten den umgekehrten Schluss nahe legen. „Grössere und allgemeinere Beweiskraft“ — so urteilt v. Richthofen [64], nachdem er den zweifelhaften Wert der in relativ tiefem Niveau aufgefundenen Reste von Landtieren erwogen hat — „ist der vorsichtigen Anwendung morphographischer Merkmale beizumessen;“ dazu gehört in erster Linie „feine Gliederung“ der flachen Küste. Während, wie Kap. II darlegen wird, Flussdeltas fast stets auf eine negativ bewegte Küste schliessen lassen, sind fluviatile Trichterbildungen, wenn auch nicht ebenso bestimmt, für eine Andeutung chronischen Landverlustes zu halten. Die Wichtigkeit der Korallenbauten (s. u. in Kap. III), welche durchweg auf ein Ansteigen der Niveaulinie hinweisen, ist zuerst von Playfair [65], weit präziser aber von Ch. Darwin nach der Rückkehr von seiner Weltumsegelung (I, S. 27), hervorgehoben worden. „Wenn die Grundlagen,“ so äussert er sich [66], „von denen die Atoll-bildenden Korallen ausgingen, nicht von Niederschlägen gebildet wurden, und wenn sie nicht bis zu dem verlangten Niveau emporgehoben wurden, so müssen sie notwendig bis zu demselben gesunken sein; und dies löst auch sofort die Schwierigkeit.“ Von den kraft einer Verringerung des Küstenlandes eingetretenen Veränderungen des Pflanzenkleides, deren Hahn [67] gedenkt, ist wohl nur eine recht beweiskräftig, das Vorkommen von Torfmooren und Wäldern unterhalb des Wasserspiegels. Dieses Moment hat bei Griesebach [68] ausgiebige Würdigung gefunden. Einigermassen können auch die Holz- oder Baumstubben zur Kontrolle herangezogen werden, welche für die westliche Ostsee charakteristisch sind und zuerst von Forchhammer [69] beschrieben wurden; an sie erinnert der Name der grössten landschaftlichen Zierde Rügens, Stubbenkamer (kamin, wendisch gleich Stein). Die unterwaschende Aktion der Brandungswoge, verstärkt in gelegentlichen Sturmfluten, wie sie das Baltische Meer nicht selten erlebt (S. 451), löst Erde und Gestein, dessen Oberfläche mit Bäumen und Unterholz bestanden war, vom Lande los, und diese graben sich dann, eine unerfreuliche Erschwerung der Schiffahrt bildend, tief im weichen Meeresboden ein, wie dies Ackermann [70] genauer ausgeführt hat.

Im Bereiche des Mittelmeeres ereignet es sich nicht allzu selten, dass man zerstörte Häuser, Mosaikfussböden u. dgl. tief unter Wasser erblickt, oder dass man bei Erdarbeiten unweit des Strandes auf menschliche Artefakte stösst. Wenn das der Fall ist, dann ist marine Küstenverschiebung zu einem sehr hohen Grade von Wahrscheinlichkeit geworden. Schon im XVIII. Jahrhundert machte sich bei italienischen Forschern eine rege Arbeitslust im Aufsuchen ähnlicher Vorkomm-

nisse geltend; B. Zendrini [71], Manfredi [72], Donati [73], Fortis [74] lieferten Beobachtungen und theoretische Erörterungen, welche sich einerseits hauptsächlich auf die venetianischen Lagunen, andererseits auf die istrisch-dalmatische Inselwelt gegenüber bezogen. Was für letztere zu seiner Zeit vorlag, hat Klöden [75] gesammelt und gesichtet, nachdem T. Gruber [76] hiezu die Anregung erteilt hatte. Manfredi und Zendrini untersuchten 1731 in Ravenna ein altes Marmorpflaster unter jenem der zu Beginn des XIV. Jahrhunderts erbauten Hauptkirche, das 8 Zoll unter damaligem Mittelwasser lag, und etwas ganz Analoges weiss Donati (s. o.) vom Markusplatze in Venedig zu berichten, Klöden führt [77] ferner das gegen Ende des XVIII. Jahrhunderts beobachtete Ansteigen des sonst oft wasserarmen Cepič Sees (östliches Istrien) darauf zurück, dass der höhere Stand des Quarnero-Meeres dem sonst gewöhnlichen Ausfliessen des Seewassers durch unterirdische Karstemissare hinderlich sei. Dass die Inselstadt Trau in Dalmatien früher durch eine — wohl noch vorhandene, aber überflutete — Landbrücke mit dem Festlande zusammenhing, erscheint sicher. Die Klödensche Materialiensammlung ist überhaupt lehrreich, obwohl der Autor seine Leser darüber nicht in Zweifel lässt, dass er nur widerwillig einer chronischen Veränderung beipflichte und eine Mitwirkung vulkanischer Agentien, gerade in diesen Gegenden, für nicht ausgeschlossen halte.

So unvollkommen auch unsere Einsicht in die Art und Weise sein mag, wie sich die marine Strandverschiebung abspielt, so denkt man doch heute nicht mehr daran, deren Realität in Abrede zu stellen. Ausgedehnte Senkungsfelder finden sich an den Rändern der Kontinente ebenso, wie in den freien Ozeanen. Ja, es ereignet sich sogar, dass ein und dieselbe Küste im Laufe der Zeiten alternativen Bewegungsvorgängen unterworfen sein kann.

§. 4. Oszillatorische Küstenbewegungen; das Serapeum von Puzzuoli. Wenn eine Küste folgeweise positiven und negativen Verschiebungen der Strandlinie ausgesetzt war, so sagen wir, sie befinde sich im Zustande oszillatorischer Bewegung (S. 439). Die Bezeichnung, wie auch eine Anweisung zur Konstatierung solcher Wechselbewegung rührt anscheinend von Suess [78] her. Oertlichkeiten, auf welche diese Definition passt, kommen häufiger vor, als man ehedem glaubte; einige derselben, welche als typisch gelten können, führt Supan an [79]. „Skandinavien erlebte seit der Eiszeit eine Reihe von Oszillationen, die vielleicht durch Ruhepausen getrennt waren. Sombrero, ein kleines Felseneiland Westindiens, besteht aus sechs Kalkbänken mit rezenten Konchylien; die Spalten sind mit Phosphaten ausgefüllt, die offenbar von alten Guanolagern herrühren. Mindestens dreimal müssen solche Guanobildungen entstanden sein, und mindestens ebenso oft muss das Inselchen vor seiner letzten negativen Bewegung über den Meeresspiegel emporgetaucht und wieder unter demselben verschwunden sein." Der merkwürdigste Fall jedoch, den wir kennen, ist derjenige des Serapistempels (Serapeums) bei der unteritalienischen Stadt Puzzuoli (dem alten Puteoli).

Wer sich über die dortigen Verhältnisse unterrichten will, wird die monographische Darstellung von Brauns [80] auch dann mit Nutzen zu Rate ziehen, wenn er sich mit deren Schlussfolgerungen nicht zu befreunden vermag. Dieser Quelle zufolge wurde erst 1580 von einem gewissen Loffredo [81] des Vorhandenseins eines bemerkenswerten Tempelüberrestes bei jenem Städtchen in der Nähe von Neapel Erwähnung gethan, und 1752 fand die Freilegung statt. Für den Geologen haben wesentlich drei freistehende Säulen Interesse, deren jede in einer Mittelzone, welche für jede Säule die gleiche ist, von Bohrmuscheln oder Pholaden angefressen ist. Die Spezies, welche man allein antrifft, heisst Lithodomus lithophagus L. und ähnelt sehr der bekannteren Miesmuschel; die Identifi-

zierung war leicht, weil stellenweise die Gehäuse in den gebohrten Löchern stecken geblieben sind. Wir geben in Fig. 113 eine Zeichnung der Ruine nach Goethe, der im Jahre 1787 an Ort und Stelle seine Aufnahme gemacht hatte und 36 Jahre später seine Gedanken darüber zu Papier brachte [82]; a, b, c sind die angegriffenen Partien der drei Tempelsäulen. Ob man freilich ein Recht hat, das Gebäude als jenen Tempel der ägyptischen Gottheit anzusprechen, welcher nach antiken Zeugnissen in Puteoli stand, ist nach der Meinung des Archäologen Below [83] äusserst zweifelhaft. Wir lassen dies einstweilen dahingestellt, werden aber in §. 8 sehen, dass es nicht gleichgültig für den naturwissenschaftlichen Teil des Problemes ist, vor welches uns das sogenannte Serapeum stellt. Unter diesem letzteren Gesichtspunkte beschäftigten sich mit dem Tempel Hamilton [84] und Breislak [85]; auch v. Hoff hat [86] mit gewohnter Akribie die ihm zugänglichen Thatsachen zusammengestellt. Sofern nicht künstliche Hypothesen oder Erklärungsmittel von ganz anderem Charakter aufgesucht werden, wird man, da man ebensowenig eine Erbauung des Tempels im Wasser, wie auch die Verwendung schadhaften Baustoffes für wahrscheinlich halten kann, notwendig zu folgender Konklusion gelangen: Der Boden, auf welchem das Serapeum in der hellenistischen Zeit errichtet ward, erfuhr zunächst eine namhafte Senkung, welche den mittleren Teil der Säulen noch unter Wasser brachte, und späterhin eine ebenmässige Hebung, welche mit dem Zustande von heute auch den Anfangszustand wieder herstellte. Wollte man fragen, woher es komme, dass eben nur das Mittelstück der Säulen zerstört wurde, während sie doch grösstenteils unter Wasser standen, so wäre zu antworten, dass die erwähnten Tiere nur in einer wenig mächtigen Oberflächenschicht (Pholadenzone) des Salzwassers

Fig. 113.



leben können. Für jetzt genügt es uns, den Thatbestand einer oszillierenden Küstenverschiebung festgestellt zu haben, bei welcher einem verhältnismässig kurzen Zeitraume eine grosse Amplitude der Bewegung entspricht. Die verwickelten theoretischen Betrachtungen, zu welchen dieser seltene Fall anregt, sollen, da vorläufig der Sachverhalt allein uns beschäftigt, in §. 8 ihren Platz finden.

§. 5. Generelle Charakteristik der Niveauveränderungen. Die Verschiebung der Küstenlinie im einen oder anderen Sinne steht also fest, einerlei welches ihre Ursache auch sein möge. Irgend eine Regelmässigkeit, wie sie bei minder umfassender Kenntnis der wirklichen Befunde nahe zu liegen schien, ist nicht nachweisbar; an wenig entfernten Stellen der Küste des nämlichen Landes ergeben sich Anzeichen hier von Landgewinn, dort von Landverlust. Es kam dies den meisten ganz natürlich vor, als man noch an die Möglichkeit sogenannter Schaukelbewegungen glaubte, allein diese Annahme lässt sich heutzutage nicht mehr aufrechterhalten.

Man war überzeugt, dass die, wie man sich gewöhnlich ausdrückte, auf- und absteigenden Küstenstrecken durch einen schmalen Bezirk vollkommener Bewegungslosigkeit voneinander getrennt würden; dieser Bezirk sollte gewissermassen den Mittelpunkt eines Wagebalkens darstellen, dessen beide Arme man sich in alternierender Bewegung begriffen vorstellte. Ganz unzweifelhaft schien ein solcher Wechsel der Bewegungsrichtung in Grönland zu sein. Auf Pingels Mitteilung [87], dass an der Westküste der grossen Insel, an der früher Erhebungen bemerkt worden waren, auch ausgeprägte Senkungen zu konstatieren seien, folgte Bessels [88], der „die Hauptachse der Oszillation“ zwischen dem 74. und

75. Parallel ermittelt zu haben vermeinte und die Schwengelbewegung mit dem Aus- und Einatmen des menschlichen Körpers verglich. Schärfere Prüfung hat den Grund des hier obwaltenden Irrtums darin aufzudecken gestattet, dass Strandlinien und andere Merkmale verschiedenen Alters als chronologisch zusammengehörig angesehen wurden. Dies erkannte mit vollster Bestimmtheit Suess [89]: „Die oft ausgesprochene Meinung von der schaukelförmigen Bewegung Grönlands beruht nur darauf, dass uralte, hochgelegene Strandlinien verglichen wurden mit scheinbar positiven Spuren an Gebäuden im Süden, welche der neuesten Zeit angehören.“ Das Wesen einer im gegebenen Einzelfalle vorzunehmenden Prüfung vorliegender Indizien einer Niveauverschiebung lässt sich also dahin präzisieren, dass vor allem das relative Alter der als Kennzeichen dienenden Erscheinung zu bestimmen und ein Vergleich ausschliesslich auf gleichalterige Vorkommnisse zu erstrecken ist.

Dabei tritt dann allerdings noch ein weiteres Moment von Wichtigkeit hervor. Wahrnehmbar sind die Küstenbewegungen selbstverständlich am besten am Meeresstrande selbst, aber man kann doch nicht umhin, sich die Frage vorzulegen, ob nicht auch im Binnenlande vertikale Verschiebungen, als Konsequenz der am Meere deutlicher in die Erscheinung tretenden, vorkommen können. Ein Bescheid darauf kann nur durch direkte Beobachtung gefunden werden, und dass diese mit grossen Schwierigkeiten verbunden sind, erfuhren wir bereits, als wir uns nach den durch Erderschütterungen (I, S. 432) hervorgerufenen Nieveauveränderungen erkundigten.

Einige Notizen, welche in diesem Sinne gedeutet werden können, sind allerdings vorhanden, allein die Verwertung derselben darf nur unter Anwendung aller gebotenen Vorsichtsmassregeln erfolgen. Nachdem der zweite internationale Geographenkongress zu Venedig die Beihilfe der Geodäten zur Eruierung von Bodenverschiebungen angerufen hatte, veranlasste v. Bauernfeind [90] die nochmalige Durchrechnung der bislang mit einem noch unerklärten Fehler behafteten „Fichtelgebirgsschleife“ des bayerischen Präzisionsnivellements“, aber es fand sich, dass Bodenbewegungen den Fehler keinesfalls verursacht hatten. Die wesentlich gleich geartete Vermutung, dass die Erdkruste unter der während der Tertiärzeit so energisch bewegten Schweiz noch nicht gänzlich zur Ruhe gekommen sei, dass vielmehr bis zur jüngsten Gegenwart da oder dort das Terrain spontan seine Niveaulage ändere, ist (vgl. I, S. 452) durch Messerschmitt und Brückner als hinfällig erkannt worden [91]. Ob die von Supan [92] erwähnte Ansicht Griesbachs, dass der Süden der grossen turanischen Ebene noch immer einer Tendenz der Faltenbildung unterliege, zutrifft, stehe einstweilen dahin; verhielte es sich so, dann allerdings würde durch ein gutes Nivellement dortselbst manche Spur von Hebung oder Senkung zu konstatieren sein.

Etwas mehr Material sind wir vorzuführen in der Lage, wenn es darauf ankommt, Veränderungen des zu einem gegebenen Punkte gehörigen Aussichtsbereiches zu erkunden. Von Zeune [93] dürfte die erste hierauf bezügliche Angabe ausgegangen sein; er wollte vernommen haben, dass man in Ulm, Esslingen und Jena das Verschwinden entfernter Fixpunkte beobachtet habe. Anknüpfend an Issel (S. 560) glaubte später Uzielli [94] sichtbare Folgen der bradyseismischen Bewegungen zu erkennen. Italien gibt für solche Studien überhaupt einen guten Boden ab, denn Marco, der aus den zentralen Apenninen den Stoff zu seiner Schrift zog [95], behauptet, es sei dort eine bekannte Sache, dass sich Objekte, welche man einige Zeit zuvor noch ganz gut gesehen habe, dem Blicke entzogen. Die Bewohner der nächst gelegenen Küste huldigten dem Glauben, ihr Strand werde vom Meere langsam „aufgefressen“, wie dies denn auch durch Residuen alter Bauten und Strandbänke unter dem heutigen Meeresspiegel bewahrheitet werde. Marcos Darlegungen dünken uns besonders deshalb von Interesse, weil sie Küstenbefunde mit angeblichen Erzeugnissen eines immerhin distanten Gebirgslandes einheitlich zusammenfassen. Westschweizerische Nachrichten haben Girardot [96] und Jegerlehner [97] gesammelt. Eine grössere Anzahl unverwerflicher Zeugen sage aus, dass man jetzt das ganze Schloss von Granson (am Neuenburger-See), sowie nicht minder den Spiegel des Genfer-Sees an Orten sehe, von denen aus man früher das Schloss nur

in seinen obersten Teilen, den See aber gar nicht erblickt habe. Aenderungen des Vorgeländes durch Abholzung u. dgl. seien in den meisten Fällen ausgeschlossen. Die von Romieux in Aussicht gestellten Messungen [98] geben Hoffnung, dass immerhin vage Aeusserungen exakter Festlegung dessen, was als gesichert gelten kann, den Platz räumen müssen. Was die Veränderungen der Höhenlage im Thale des zum Rhône fliessenden französischen Flusses Ain anlangt [99], so haben Pernots und Romieux' bisher durchgeführte Nivellierungen dem Volksglauben, dem solche Ortsverschiebungen etwas Unzweifelhaftes sind, wenigstens nicht Unrecht gegeben. Innerhalb Deutschlands ist jedenfalls Thüringen der zumeist in Frage kommende Landesteil, denn neben Zeune (s. o.) hat auch v. Hoff [100] vertrauenswerte Erkundigungen über Bodenerhöhungen und Terrainsenkungen zusammengebracht, und die sehr gründlichen, durchweg den geübten Geodäten verratenden Nachforschungen Kahles [101] scheinen doch auch dafür zu sprechen, dass man eine gewisse Wahrscheinlichkeit der Realität solcher Bewegungen zugeben müsse.

Aber freilich ist damit, wenn man den Augenschein als berechtigt zugibt, noch keineswegs ausgesprochen, es müsste der Anlass der Terrainveränderungen der gleiche sein, welcher die Strandlinie zum Auf- und Niederschweben nötigt. Es können auch rein örtliche tellurische Ursachen in Mitte liegen. So hat sich, um Beispiele anzuführen, am 7. September 1889 eine höchst auffällige, abrupte Bodenerhebung im Bette des Lower Fox River (Wisconsin) bemerklich gemacht [102], welche von den Einen mit dem Nachgeben von Kalk- und Thonlagern, von den Anderen mit tektonischen Umsetzungen in der Erdrinde in Verbindung gebracht wurde. Ersteres möchte das Wahrscheinlichere sein, denn auch in den piemontesischen Alpen konnte Sacco [103] das Verschwinden gewisser Bergesteile durch das Nachgeben leicht beweglicher Schichten erklären; es versteht sich von selbst, dass durch Bergschlipfe (Act. VIII, Kap. V) die Physiognomie einer Gebirgslandschaft erheblich beeinträchtigt werden kann. Man denke nur an das rutschende Dorf Tschappina in Graubünden [104] oder an die bedenklichen Terrainbewegungen im Zillerthale, deren Kenntnis uns Blaas [105] vermittelt hat. Gerade so verhält es sich mit Bodeneinstürzen im unterhöhlten Gebiete aller Bergwerke. Penck [106] erinnert an Höhenänderungen, die durch solche Zusammenbrüche veranlasst waren, und die Kennzeichnung [107] der Umgegend der — selbst stark gefährdeten — Stadt Eisleben durch Kraus, Ule und O. Lenz führt von selbst darauf, dass einzelne Höhenpunkte aus dem Gesichtsfelde anderer Orte sich verlieren müssen, sei es dass sich die Pilotierung für den betrachteten Punkt oder für den Standort des Beobachters als unzureichend erwiesen hat. — Eine einflussreiche Fehlerquelle kann sich übrigens auch durch Aenderungen im Betrage der terrestrischen Strahlenbrechung (S. 91) eröffnen; in wie starkem Ausmasse die Erkennbarkeit eines entfernten Gegenstandes von dem Zustande der zwischenliegenden Luft abhängt, darüber konnten insbesondere Linggs Untersuchungen [108] vergewissern. Wenn man z. B. von einem Kirchturme hört, dass er zu einer Zeit sichtbar, zu einer anderen Zeit unsichtbar gewesen sei, wie Bergman [109] einen solchen Fall anführte, so liegt es nahe genug, an die erwähnte Möglichkeit zu denken.

Den allein zum Ziele führenden Weg, gleichzeitige Meeresstände der Vergangenheit als solche zu erkennen, schlug De Veer [110] ein, indem er die sogenannten Isoanabasen (ἀνάβασις, Aufstieg) verzeichnete. Es sind dies also Linien gleicher Hebung; bis zu ihnen war das Wasser zu derselben Zeit angestiegen. Diese alte Meeresgrenze verläuft nicht etwa genau parallel zur heutigen Wasserlinie, sondern sie steigt gegen das Innere des Landes hin allmählich an, wie dies Bravais (S. 562) bereits an der Küste von Finnmarken bemerkt hatte. Für die nördliche Umgrenzung des Baltischen Meeres sind dann noch die Messungen von Holmström [111] und Bonsdorff [112] hinzugekommen. Ersterer fand, dass die an sich unzweifelhafte Kontinentalverschiebung (S. 564) früher energischer als gegenwärtig vor sich ging, und dass vom Norden des Bottnischen Meerbusens her auf beiden Ufern eine Abnahme der Verschiebungsbeträge zu konstatieren ist. Nächst

Kronstadt ergab sich, Bonsdorffs Rechnungen zufolge, für den langen Zeitraum von 1841 bis 1885 nur ein Zurückweichen der Wasserlinie um 24 mm, und diese Zahl ist auch noch keine ganz zuverlässige. Die durch Sieger für unseren Zweck verwerteten Angaben des finnischen Forschers Petrelius lassen ersehen [113], dass bei Wasa die Strandverschiebung ihren Maximalwert erreicht und von dort aus nach Norden schwächer, nach Süden stärker abnimmt, was mit Holmströms Ergebnissen wenigstens in einem wichtigen Punkte übereinstimmt.

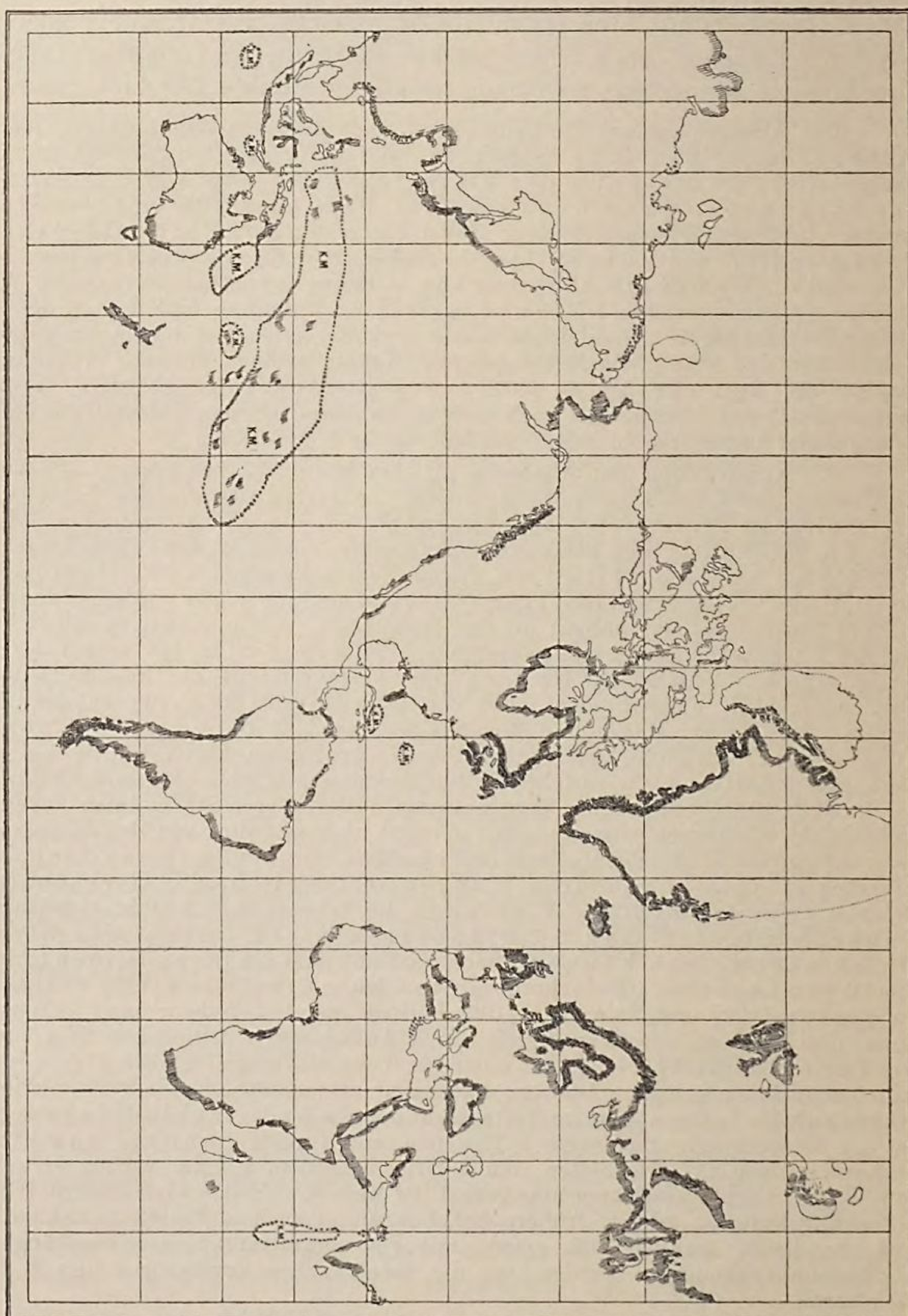
Der Abhandlung von Bonsdorff kommt auch ein entschiedener Wert in methodischer Hinsicht insofern zu, als in ihr zuerst umfassend daran gegangen wird, die Methode der kleinsten Quadrate auf das Problem der Strandverlegung anzuwenden. Nach einer Mitteilung von Sieger ist das allerdings gelegentlich auch früher schon durch v. Nordenskiöld [114], Fornman [115] und Moberg [116] geschehen, und für die grossen schwedischen Seen wird die Wahrscheinlichkeitsrechnung in einem wesentlich technischen Werke nutzbar gemacht, welches Lilienberg [117] auf Anregung und Kosten der Stadt Stockholm herausgab. Desgleichen nahm ersterer, um allen denkbaren Faktoren, welche auf den Stand des Meeresspiegels Einfluss nehmen können, Rechnung zu tragen, ein den variablen Luftdruck berücksichtigendes Glied in seine Formel auf. Denn dass auch diesem ein Anteil an den präsumtiven Meeresbewegungen zugeschrieben ward, werden wir in §. 8 erfahren.

Die Konstruktion der Anabasen gleicher Höhe ist, wie gesagt, De Veers Verdienst, soweit das Meer in Frage kommt; der Grundgedanke ist jedoch erstmalig an Binnenseen durchgeführt worden. Wir erwähnten, als wir von den Hilfsmitteln des Studiums klimatischer Zustände der Vorzeit sprachen (S. 325), des von Gilbert [118] mit diesem Namen belegten Lake Bonneville, dessen Reste wir in den salzhaltigen Wasseransammlungen des nordamerikanischen „Grand Desert“ vor uns haben; an den Berghöhen, welche diesen riesigen Binnensee der ältesten Quartärperiode einrahmen, wurde der Nutzen der Isoanabasen erstmalig erprobt. Sodann hat Spencer das Verfahren auf die kanadischen Seen übertragen [119], deren Spiegel auch dereinst sich weit über dem gegenwärtigen befand. Am Oberen, Huron- und Michigan-See liess sich die sogenannte Algonkin-Strandlinie, am Erie- und Ontario-See die Irokesen-Strandlinie auf ungemein grosse Entfernungen verfolgen; die Bezeichnungen sind von Indianerstämmen des kanadischen Grenzbezirkes hergenommen. Die tieferen Strandlinien lassen sich nicht leicht anabasisch zusammenfassen, wohl aber gilt dies von den höchsten, so dass eine grosse Wahrscheinlichkeit dafür besteht, die fünf grossen Seen seien die Reste eines ungeheuren binnenamerikanischen Wasserbehälters, welchen Spencer als Lake Warren in die Wissenschaft einführen möchte. — Ueberhaupt wird man an Binnenseen nicht selten alte Strandlinien nachweisen können. Sehr berühmt sind die Strandlinien (Parallel Roads) von Lochaber (Hochschottland), von denen Prestwich [120], Jolly [121], Jamieson [122] und Sandler [123] Bericht erstattet haben; man erkennt in ihnen drei Niveaux eines zur Eiszeit durch Aufstauung entstandenen Sees, „der,“ wie Penck ausführt [124], „nach einander, beim Rückzuge des Eises, drei in verschiedenen Höhen gelegene Auswege hatte und dem entsprechend drei verschiedene Stände aufwies.“ Ganz analoge Terrassenbildungen fand Starkie Gardner [125] an den Bergrändern einer weiten Thalebene auf Island, Sandklettowatn zubenannt, welche auf drei Seiten vom Gebirge umgeben, auf der vierten Seite aber von einem alten Lavastrome abgegrenzt ist und gewöhnlich eine seichte Wasserbedeckung aufweist, deren frühere Erhebungen eben jene Terrassen ankündigen. Auf eine Reihe sachlich aufs engste mit den vorgenannten zusammenhängender Abdämmungsphänomene werden uns die theoretischen Erwägungen des §. 8 zurückführen.

§. 6. **Geographische Verteilung der Strandverschiebungen.** Es ist nunmehr an der Zeit, die Küsten der Erdteile und Inseln durchzumustern und zuzusehen, wie sich an denselben die Verschiebungen der Küstenlinie im positivem und negativen Sinne verteilen. Das in Fig. 114 dargestellte Kärtchen unterstützt unsere Ausführungen; bei seiner Her-

stellung war wesentlich, aber nicht ausschliesslich, die kartographische Darstellung Supans [126] massgebend. Auf die Unsicherheit mancher Kriterien, deren man eben doch beim Fehlen sicherer Anhaltspunkte

Fig. 114.



Kriterien von Landzunahme. Kriterien von Landverlust. Kriterien abwechselnder Niveauveränderungen im einen oder anderen Sinne. (K.M.) Korallenmeere, auf Steigen des Meeresspiegels hinweisend.

nicht wohl entraten kann, ist in §. 2 und 3 hingewiesen worden, so dass also auch die Angaben, welche wir nachstehend bei einer Umwanderung der Küsten der einzelnen Erdteile machen werden, teilweise nur unter Reserve gegeben und hingenommen werden dürfen.

a) Europa. Von der Pyrenäischen Halbinsel ist wenig Zuverlässiges zu berichten [127]. Versunkene Wälder wollen Forchhammer und v. Maack an der Nordwestküste gefunden haben [128], während an der Süd- und Südostküste Spuren negativer Strandverschiebung zu Tage treten. Für die Ufer Frankreichs bietet ein in Deutschland wesentlich nur auf dem Referatswege bekannt gewordenes Werk von Quenault [129] gute Auskunft dar; man muss, was freilich schwer zu verstehen ist, einstweilen mit Girard [130] schliessen, dass dortselbst Hebungs- mit Senkungsfeldern abwechseln. Gewiss ist ja ein sehr beträchtlicher Teil des gewaltigen Landverlustes, den auch ein ungeübtes Auge an den Küsten der Bretagne und Normandie — vorab des Cotentin — wahrnimmt, auf Rechnung der Zerstörungskraft der Brandungswoge zu setzen, allein diese äussert sich eben auch am entschiedensten (Kap. II, §. 2), wenn die Küste mariner Verschiebung unterliegt, und so sind die Reste von Mauerwerk und Baumgruppen, welche unter Wasser sichtbar werden, deutliche Anzeichen für eine Strandverlegung der bezeichneten Art. Die „Landes"-Küste gehört zu den zweifelhaften Gegenden [131], bezüglich deren keine Entscheidung zu treffen ist. Im allgemeinen darf man wohl sagen, dass an der atlantischen Küste unseres Kontinentes bis zur Jütischen Halbinsel, und mit Einschluss der westlichen Uferränder von Grossbritannien und Irland, positive Strandbewegung vorherrschend ist [132]. An den Westküsten dieser grossen Inseln ist allerdings vielfach eine Oszillation (S. 566) unverkennbar, aber jedenfalls hat in historischer Zeit die Tendenz zum Landverluste entschieden überwogen, wie dies aus den von Lyell [133] gesammelten Zeugnissen erhellt. Hahn citiert [134] einen weiteren Beleg über das Versinken von Hayling Island, indem bei einem Gesuche um Steuerbefreiung im XIV. Jahrhundert gesagt wird: „Ad quemlibet fluxum maris quaedam pars terrarum insulae predictae destruitur et superundatur." Die Bewegung an der Westküste, welche früher eine ausgesprochen negative war und neuerdings vielfach das entgegengesetzte Zeichen angenommen zu haben scheint, ist jedenfalls eine sehr langsame, wie dies schon in einer der frühesten Arbeiten über die oben erwähnten Felsenstreifungen von Lochaber angedeutet worden ist [135]. Die Ostküste Englands ist, wenn überhaupt, negativ bewegt, aber der Bewegungszustand ist so gut wie unmerklich [136], und in Ostschottland sind die Spuren einer Landhebung etwas deutlicher markiert. Die Piktenmauer des Kaisers Antoninus hat jedenfalls, wenn sie ihren Abwehrzweck erreichen wollte, bis an die Nordsee oder sogar in diese hinein gereicht, aber zur Zeit verhält es sich damit anders [137]; das Wallende liegt ziemlich weit vom Meere entfernt und zugleich über dieses erhaben.

Die Strandverschiebung der Fär Öer ist eine kräftig positive; das Felseneiland Munken, welches früher den Schiffern als Landmarke und Richtpunkt für Vermeidung einer gefährlichen Strömung diente, soll nach und nach ganz unter dem Wasser verschwunden sein [138]. Anders steht es mit Island. Thoroddsen [139] gibt an, dass sich nach Beendigung der Eiszeit die Küste stetig emporgehoben habe, wie zahlreiche Strandlinien, Terrassen und von der Brandung ausgewaschene Höhlen in verschiedenen Höhen bewiesen. Immerhin gilt dies mit voller Bestimmtheit doch nur für die Südküste, wogegen im übrigen Anzeichen beider Arten von Strandverschiebungen aufgefunden wurden.

Während, wie gesagt, die Nordalbingische Halbinsel an ihrer ganzen Westküste der grossen marinen Verschiebung angehört, treten an der Ostküste, und ebenso auch an der schwedischen Südküste, nach Forchhammer [140] Spuren von Landgewinn in die Erscheinung. Für Skandinavien als Ganzes sind die tiefgehenden, das gesamte Material der schwedischen und finnischen Litteratur verarbeitenden Forschungen Siegers (S. 560) autoritativ, welche Ricchieri [141] abgekürzt dargestellt hat. Hier gehen uns vornämlich die folgenden Thatsachen an: Die negative Verschiebung war am stärksten zu Celsius' Zeit (S. 564); seitdem ist sie schwächer geworden und kann ganz aufhören, resp. sich in ihr Gegenteil verändern, wie dies früher schon der Fall war; das Maximum des Verschiebungsbetrages ist durch die Linie Gefle-Wasa, das Minimum durch die Küste gegenüber der Insel Öland gekennzeichnet. Von der Halbinsel Kola ist bloss ein Absteigen der Strandlinie bekannt, wogegen Schweden, Norwegen und Finnland ehedem von einem Ansteigen derselben betroffen waren und deshalb auf der Karte das Zeichen der Oszillation erhalten mussten. Die Küste Deutschrusslands hat Landgewinn zu verzeichnen, wie dies ganz besonders nahe bei Libau konstatiert wurde [142]; der deutschen Ostseeküste dagegen lässt sich kein gültiger Beweis für die Behauptung entnehmen, dass

dort eine bestimmte Verlegung der Wasserlinie stattfinde. Man glaubte wohl früher [143], dass ein Sinken unverkennbar sei, aber schon Hahn [144] begnügt sich mit Wahrscheinlichkeitsgründen, welche Ackermann [145] auch nur bedingt gelten lassen will, und P. Lehmann, der scharfsichtige Monograph der pommerschen Küste, sieht sich um so mehr zu einem „non liquet" veranlasst [146], da die Berechnung der Pegelbeobachtungen durch Paschen und die geologische Landesaufnahme von Geinitz — nähere litterarische Notizen enthält Bachmanns [147] Uebersicht über die landeskundlichen Schriften der Grossherzogtümer — widersprechende Resultate geliefert hätten.

Viele Daten betreffs der Mittelmeerländer hat Th. Fischer [148] gesammelt und diskutiert, und es sind seitdem auch andere, wertvolle Untersuchungen hinzugekommen. In Ligurien und auf den tyrrhenischen Inseln sind negative Strandverschiebungen die Regel; auf Sizilien wenigstens grossenteils. Sardinien vor allem hatte sich der Ueberwachung von Marcialis [149] zu erfreuen, der eine stetige Landhebung während des ganzen Verlaufes der Quartärperiode ausser Zweifel stellen zu können glaubt; postglaziale Meeresablagerungen begleiten den Strand in einer Höhe von 100 m. An der Westküste Siziliens sind die Buchten und Häfen zweifellos seit Beginn der christlichen Zeitrechnung seichter geworden, wie denn der Hafen von Trapani, in welchen des Polybius Zeugnis eine Seeschlacht zwischen Römern und Karthagern verlegt, heutzutage nur noch ½ m Tiefe besitzt; blosse Verschlämmung kann von so nachhaltigem Meeresrückgange kaum die alleinige Ursache sein. Die von Reyer [150] für die Landausdehnung der toskanischen Küste beigebrachten Argumente werden von Fischer [151] zwar nicht durchweg anerkannt, dürfen in ihrer Gesamtheit aber doch auch nicht unterschätzt werden. Die auf den ersten Anblick ganz zweiffellos oszillatorische Bewegung der neapolitanischen Küste hat uns schon oben (S. 567) beschäftigt, und ein Gleiches gilt (S. 565) für diejenige des Adriatischen Meeres, das klassische Gebiet der Senkungserscheinungen. Höchstens in der Nähe von Avlona (Albanien) scheint rein örtlich die positive Strandbewegung durch eine negative unterbrochen zu werden [152]; sonst ist die negative Bewegung für Griechenland charakteristisch. Die starke Landbildung am Thermopylenpasse, welche die antike Ortsbeschreibung nahezu unverständlich gemacht hat, ist wohl nicht ausschliessend auf die Ausfüllung des Malischen Meerbusens durch fluviatile Sinkstoffe zurückzuführen [153]. Auf Kreta sind ganz ähnliche Wahrnehmungen, wie am Tempel von Puzzuoli (S. 567), gemacht worden [154]. Am Pontus sind beträchtliche Veränderungen des Uferstandes seit dem Altertum schwerlich eingetreten [155]; allenfalls kann es sich nur um Meeresrückzug, resp. Landgewinn handeln.

b) Afrika. Die Küste Nordafrikas ist seit prähistorischer Zeit in negativer Bewegung begriffen (vgl. S. 562). Trabacco hat [156] die Insel Lampedusa, politisch noch zu Europa gerechnet, für ein geologisches Anhängsel Afrikas erklärt und ermittelt, dass Afrika sich hier seit dem Ende der mittleren Tertiärzeit, anscheinend kontinuierlich um rund 400 m gehoben habe. Dagegen scheint von Tunis an die kontinentale Strandverschiebung, welche nach Tchihatchew [157] unzweideutig, nach Th. Fischer [158] aber unsicher ist, sich zu vermindern, bei Tripolis sich ins Gegenteil zu verändern und erst an der kyrenischen Küste wieder deutlicher hervorzutreten [159]. Das Sinken der ägyptischen Mittelmeerküste spricht sich klar genug in dem abnehmenden Umsichgreifen des Nildeltas aus, denn der gewaltige Fluss würde seine Schlammassen viel energischer im Meere ausbreiten, wenn dem nicht eine steigende Tendenz des Seespiegels entgegenstünde. Bei Suez scheint, wenn v. Kremer richtig berichtet war [160], das Rote Meer zurückzugehen, auch die Versandung des Golfes von Akabah ist unleugbar und gewiss nicht lediglich durch Sandverwehung von der Wüste her verschuldet [161]. Die Erscheinungen des Nordrandes dauern durch das ganze langgestreckte Randmeer fort bis zu dessen Südende, wo nach Courbon [162] die Hebung der Korallenbänke des Inselchens Perim eine deutliche Sprache redet. Was Hahn [163] für Ostafrika an brauchbaren Nachrichten aufzubringen im stande war, fällt zu gunsten kontinentaler Verschiebung der Küstenlinie ins Gewicht. Bei Port Natal finden sich Erosionshohlräume über dem augenblicklichen Seespiegel [163]. Fast gar nichts Sicheres ist über die Westküste Afrikas bekannt; Lyell gibt an [164], weder auf den Kanarischen noch auf den Kapverdischen Inseln klare Belege für eine vertikale Strandverlegung gefunden zu haben. Immerhin glaubt Suess [165] gelegentliche Spuren negativer Verschiebung ebendort zu finden, und ein Gleiches gilt von der

Kongomündung. Am ausgesprochensten sind nach Stow [166] die Hebungserscheinungen an den Rändern des südafrikanischen Dreieckes.

c) Asien. Im Bereiche des Pontus (s. o.) herrscht vollste Stabilität der Berührungslinie von Meer und Festland; „die Nehrung von Arabat im Asowschen Meere und jene von Perekop, ‚die Rennbahn des Achilles‘, bestanden bereits vor Jahrtausenden“ [167]. Etwas bewegter ist die mediterrane Küste Kleinasiens, deren Veränderungen Cold [168] zum Gegenstande des Spezialstudiums ausersehen hat. Die Ansicht, dass die Küste von Troas seit der homerischen Zeit einen namhaften Landgewinn zu verzeichnen gehabt habe, wird von Calvert [169] widerlegt, und Virchow [170] möchte sogar eher an Landverlust denken. Im ganzen herrschen allenthalben, mit enge begrenzten regionalen Ausnahmen, in ganz Vorderasien, Cypern und Syrien inbegriffen, negative Verschiebungen vor; die Hafenversandungen sind wohl, neben der Indolenz der Menschen, hauptsächlich der Küstenströmung (S. 505) auf Rechnung zu setzen [171]. Ein langsames Aufsteigen der ganzen Halbinsel Arabien muss man seit Niebuhr [172] für wahrscheinlich halten. Ebenderselbe hat das Unbrauchbarwerden des einst so viel besuchten Hafens von Ormus im Persischen Meerbusen näher untersucht [173]. Die Auffindung von Bohrmuscheln über der Wasserlinie beweist eine negative Meeresbewegung an der Küste von Beludschistan [174]. — Die Angaben, welche da und dort über Senkungen in Vorderindien vorgebracht werden, erachtet Suess [175] zumeist für zweifelhaft, aber auch die Hebungen können wohl teilweise auf Erdbeben und überhaupt auf Vorkommnisse von mehr zufälligem Charakter zurückgeführt werden. Doch spricht vieles für negative Strandverschiebung; die Andamanen und Nikobaren lassen alte Strandlinien und aufs Trockene versetzte Korallenbänke erkennen [176]. Spuren kontinentaler Bewegung sind auch im hinterindischen Insellande nicht selten, aber es ist einstweilen kaum möglich, herauszufinden, welchem geologischen Zeitalter die Strandlinien u. s. w. angehören. Dies gilt für Luzon, wo v. Drasche [177], und für Formosa, wo v. Richthofen [178] die einschlägigen Beobachtungen angestellt hat. Von Cochinchina ab nördlich tritt dagegen (vgl. Kap. II, §. 2) eine Küstenverschiebung von marinem Typus in ihr Recht, welche bis zur Mündung des Yangtse-kiang anhält; thatsächlich ist Oszillation vorhanden, denn der rezenten Senkung war eine ältere Hebung vorangegangen [179]. Strandeinschnitte und Bohrmuschelresiduen gaben Rein [180] Veranlassung, für Japan einen schon länger dauernden Landgewinn zu postulieren, der sich auch auf ganz Nordostasien nebst Sachalin und Kurilen ausdehnt. Muschelbänke und Terrassen sind aus Kamtschatka und den Aleuten bekannt [181]. Für die nordasiatische Küste berief man sich früher gerne auf das durch v. Middendorff [182] bekannt gewordene Noah-Holz, von welchem er behaupten zu können glaubte, „dass es nicht unregelmässig, sondern in regelrechten, ziemlich parallel hintereinander zum Meere sich hinabsenkenden Strandlinien über die Tundra verteilt ist, jede einzelne Strandlinie in ihrem ganzen Verlaufe genau gleich hoch über der Meeresfläche stehend“. Nachdem aber Bunge, Schmalhausen und v. Toll dargethan haben [183], dass die neusibirischen „Holzberge“ der Tertiärzeit angehören, scheidet dieses Kennzeichen für alle aktuellen Strandverschiebungen aus. Doch ist gleichwohl so viel gewiss, dass sich das Land rechts und links vom Ural in postglazialer Zeit namhaft gehoben, resp. das Meer sich beträchtlich zurückgezogen hat; Tschernyschew hat [184] die Beweise hiefür gesammelt, wie denn auch Graf Wilczek und Höfer auf Nowaja Semlja Terrassen zu konstatieren vermochten [185], denen Meereskonchylien — einer der kräftigsten Belege für kontinentale Strandverschiebung (S. 562) — in 95 m absoluter Höhe angehörten.

d) Australien und Ozeanien. Das australische Festland scheint keine einheitlichen Züge hinsichtlich der Strandverlegung aufzuweisen, soweit die bisher ausgeführten geologischen Aufnahmen, deren Suess gedenkt [186], gesicherte Schlüsse zulassen. Westaustralien besitzt Muschelbänke über Meer; Queensland entbehrt jeder neueren Hebungserscheinung; die Wallriffe, welche den Osten des Erdteiles umsäumen, sind eher ein Symptom positiver Verschiebung der Wasserlinie. Von einer sicher ausgesprochenen Zurückdrängung des Meeres weiss H. S. Russell [187] zu berichten, indem eine von Adelaide (Südaustralien) ausgehende Küstenbahn sich immer weiter vom Strande entferne. — Die westaustralische Inselwelt steht unter den gleichen Verhältnissen, die auch für die Archipele des Indischen Weltmeeres (s. o.) als gültig erkannt wurden. K. Martin spricht sich [188] darüber des näheren aus. Gehobener Korallenkalk ist allerwärts zu finden; Aushöhlungen, die jetzt von Mensch und Tier bewohnt sind, wurden durch den Wogenanprall hervor-

gebracht. Auf den Key-Inseln sind 4 bis 5, auf einem Inselchen nahe bei Ambon sogar 11 (!) parallele Strandlinien erkennbar. Neu-Guinea macht keine Ausnahme, und gleicherweise sind solche Scheuermarken den Salomonen und Neuen Hebriden eigen [189]. Von Ozeanien überhaupt gibt Suess folgende generelle Skizze [190]: „In dem Gebiete der pazifischen Korallenbauten sind, wie in Westindien, zahlreiche negative Spuren vorhanden. Tafelförmige Kalkmassen ragen aus den Klüften der lebenden Riffe hervor, mit horizontaler Oberfläche, zuweilen abgestuft oder an den steilen Wänden von horizontalen Strandlinien durchzogen. Stundenlange Höhlen mit Tropfsteinen finden sich in denselben, und auf ihrer Höhe liegt Roterde." Da wir in Kap. III diesem Sachverhalt nochmals näher zu treten haben, so wollen wir es für jetzt bei diesen Andeutungen betreffs der kleinen polynesischen Inselgruppen bewenden lassen. Neu-Seeland ist lange, gemäss den Mitteilungen v. Hochstetters [191], für ein Beispiel der Schaukelbewegung gehalten worden, indem die Westseite sinken, die Ostseite aber steigen sollte; allein es kann nicht mehr daran gezweifelt werden, dass die Hebungserscheinungen, so reell sie sein mögen [192], nicht als mit den Senkungszeichen synchron aufgefasst werden dürfen.

e) Nord- und Mittelamerika. Ein ausgedehntes Senkungsfeld umfasst, der vergleichenden Zusammenstellung Hahns [193] zufolge, die Ostküste der Vereinigten Staaten von Georgia bis Maine, die Bermudas und wahrscheinlich noch grosse Stücke des westlichen Atlantischen Ozeans. Die zahllosen Küsteneinschnitte machen von vornherein einleuchtend, dass das angreifende Meer gegen eine an sich schon mit Neigung zum Absinken behaftete Küste leichteres Spiel hatte, und der Umstand, dass man oft Bäume mehrere Meter tief unter der Flutmarke wahrnimmt, ist auch nur in gleichem Sinne zu interpretieren; im Einzelfalle kann daran zwar eine Uferrutschung schuldig sein, aber die Häufung der Vorkommnisse weist doch auf eine andere Erklärung hin. Nur Neu-Fundland ist einer Ausnahmestellung teilhaftig [194], während Anticosti, die grosse Insel in der St. Lorenzo-Mündung, schon wieder Landverluste zu erkennen gibt. — An der Arktischen Küste Nordamerikas sind wohl einige Andeutungen kontinentaler Strandverlegung zur Beobachtung gelangt [195], allein ob die Archipele der nordwestlichen Durchfahrt (S. 552) wirklich in diesem Sinne anzusprechen sind, bedarf doch noch sehr der Feststellung. Nördlich von der Hudsons-Bay sah die nach King Williams-Land wandernde Expedition Schwatkas deutliche Terrassenbildungen [196], und auf Beechey- wie auf Baring-Island fand man marine Konchylien noch in etwa 160 m, ja Walfischknochen auch noch in 50 m Höhe [197]. Zumal letzteres scheint für rezente negative Verschiebungen zu sprechen. — Beginnen wir die Durchmusterung der pazifischen Küste Nordamerikas im äussersten Nordwesten, so liefert die geographisch berühmte Eschholtz-Bay zahlreiche, von Dall [198] geprüfte Indizien negativer Bewegung, wogegen die vermutete Hebung im Norton-Sunde vielleicht bloss für eine Anschwemmung zu halten ist [199]. „Gegen Süden werden die Zeichen höheren Wasserstandes seltener, aber sie fehlen nicht ganz" [200]; merkwürdigerweise haben Hectors ausgedehnte Untersuchungen [201] Fluss- und Seenterrassen auch überall in den weiten Territorien Britisch-Nordamerikas aufgezeigt. In der Bucht von San Francisco stösst man wieder auf die schon mehrfach (S. 567, 573) zu den deutlichsten Kennzeichen gerechneten Pholadenlöcher im Küstenfelsen [202]. Die negative Strandverschiebung resp. Hebung scheint sich auf die ganze kalifornische Küstenregion und Utah zu erstrecken [203]; Loew veranschlagt den vertikalen Landzuwachs im Jahre auf 1,8 m. — Die Bewegung beherrscht auch die Golfküste der Union [204], während früher nach Lyell [205] Oszillationen hier obgewaltet haben müssen. Florida andererseits scheint momentan der Verschiebung überhaupt ganz zu entbehren; „eine Thatsache, die uns nicht in Verwunderung setzen kann, da Florida zwischen der aufsteigenden Zone der Grossen Antillen und der Senkungszone im Osten der Vereinigten Staaten in der Mitte liegt" [206]. — Das Aufsteigen der Bahamas-Inseln und der den Golf östlich umrahmenden Inselreihe ist schon von Ch. Darwin [207] erkannt worden, speziell auch auf Cuba [208], und Hitchcocks Nachprüfung kommt zum gleichen Resultate [209]. Doch sind lokale Strecken, deren Verschiebung sich im entgegengesetzten Sinne vollzieht, mit eingeschaltet [210]. Die atlantische Küste Zentralamerikas partizipiert an den Veränderungen, welche das ganze Gebiet des Mexikanischen Meerbusens betreffen; hinsichtlich der pazifischen Küste befinden wir uns noch ziemlich im Unklaren. Es wird aber wohl, mit Ausnahme allerdings eines von Suess [211] unterschiedenen Küstensaumes mit positiver Tendenz, auch im Westen vorwiegend negative Verschiebung anzunehmen sein.

f) Südamerika. Der Nordrand Südamerikas entzieht sich nicht der durchgehenden Gesetzmässigkeit des Mittelamerikanischen Nebenmeeres; als Reiss [212] zuerst seine barometrischen Messungen mit denen älterer Beobachter verglich, kam ihm der Eindruck, es sinke der gesamte Kontinent mit Einschluss der Kordilleren, aber bald entdeckte er die Fehler seiner Vorgänger, und konstatierte eine langsame Hebung des Landes, welche der Konquistador Castellanos schon 1545 in der Bucht des Magdalenenstromes erkannt hatte. In einem Gedichte [213] schilderte derselbe das eigenartige Aussehen des dereinst vom Meere überdeckten Landstriches; „dort hat ringsum, davon ist man durchdrungen, Neptun den mächtigen Dreizack einst geschwungen“ (freie Uebertragung der kastilischen Oktaven von Herrn Vizekonsul Fr. Knapp in Nürnberg). Das nördliche Brasilien ist mutmasslich negativ bewegt [214], nach C. Wiener [215] um 0,5 m im Jahrhundert; freilich sind die von der Küstendistanz der „Sambaquis“ hergenommenen Argumente nicht von besonders hohem Werte. Nur das Amazonengebiet trägt mit seinen ausgedehnten Uferzerstörungen, an denen übrigens auch die Pororoca ihren Anteil hat, ein anderes Gepräge. Kontinental bewegt sind auch die Küsten von Uruguay und Argentinien; „für diese Erhebung,“ sagt Darwin [216], „haben wir Beweise in den emporgehobenen Schichten rezenter Muscheln und abgerundeter Rollsteine von Bimsstein, welche über das Land zerstreut sind.“ — Eben Darwin glaubte eine „dauernde Erhebung“ der chilenischen Küste den dort ungemein häufigen Erdbeben (I, S. 542) zuschreiben zu dürfen [217[; die Thatsache selbst ist richtig, während der Erklärungsversuch vor Suess' Kritik [218] nicht zu bestehen vermochte. Von den zahlreichen Terrassen des Küstenlandes erstattete Domeyko [219] eingehend Bericht, doch ist es noch nicht geglückt, sich ein einheitliches Bild von Wesen und Zusammenhang der negativen Strandverschiebung zu machen [220]. Peru und Ecuador sind zwar, wie Th. Wolf (S. 507) gezeigt hat, des Strandlinienphänomenes keineswegs bar, aber die in die Vergangenheit hinaufreichende Bewegung der Küstenlinie scheint zur Zeit eingeschlummert zu sein [221], und auch an den Galápagos ist kein Merkmal einer rezenten Hebung zu erkennen.

g) Polargebiete. Wenn wir die Verhältnisse der Antarktis studieren wollen, tritt uns wieder die in Kap. VI, §. 10 der vorigen Abteilung beklagte Unvollkommenheit unseres geographischen Wissens hindernd in den Weg. Von der Joinville-Insel sagt Fricker [222]: „Ob die tiefer gegen das Innere des Landes gefundenen Walknochen als ein Beweis für eine rezente negative Strandverschiebung gelten dürfen, lässt sich jetzt noch nicht entscheiden, ist aber bemerkenswert neben ähnlichen, auf den Süd-Shetland-Inseln gemachten Funden.“ — Die ans Nördliche Eismeer grenzenden Erdteile Nordamerika und Asien sind schon von uns gewürdigt worden; es bleiben mithin nur noch Grönland und die nördlich von Europa gelegenen Inselgruppen für die Besprechung übrig, und auch darüber wurde bereits (S. 568) Klarheit geschaffen, dass die vermeintliche Schwengelbewegung Grönlands aus dem Bestande der Wirklichkeit zu streichen ist. Terrassen und muschelführender Sand sind an vielen Küstenstrecken der grössten Insel in verschiedenen Niveaux zu bemerken [223], aber die angebliche Senkung beruht nach Steenstrups autoptischer Untersuchung auf Täuschung [224]. An der Nordwestseite Grönlands ist eine „ausserordentliche Entwickelung“ der Strandlinien zu konstatieren [225], gerade so wie am Ufer des jenseits des Smith-Sundes gelegenen Grinnell-Landes. Auch Ostgrönlands Küste ist mit solchen Scheuermarken besetzt, wie wir von Payer erfahren [226]. — Dass rings um Jan Mayen und Spitzbergen die Wasserlinie sich abwärts bewegt, kann nicht mehr bezweifelt werden [227], und damit haben wir den Anschluss gefunden an jene mächtige Kontinentalverschiebung, welche den ganzen Nordrand Eurasiens so entschieden charakterisiert.

Sehen wir jetzt zu, ob es möglich ist, aus den zahlreichen beigebrachten Einzelthatsachen einige allgemeine Schlüsse zu ziehen. Für diese fällt insbesondere Hahns sehr nützliche Vorarbeit [228] in die Wagschale. Zweifellos erscheint, dass die hier einzig betrachteten langsamen Strandverschiebungen, welche wir — unter entsprechendem Vorbehalte (I, S. 539) — als säkuläre bezeichnen, ausser jedwedem Zusammenhange mit der Polhöhe und überhaupt mit der geographischen Lage stehen. Peschels Erfahrungssatz [229], die positiven Bewegungen bevorzugten den Osten und Süden, die negativen

den Westen und Norden der Kontinente, besitzt nur eine sehr eingeschränkte Gültigkeit, am meisten in Bezug auf Nordamerika. Kurz und bestimmt hat Zöppritz [230] die beglaubigten Thatsachen in nachstehenden Sätzen vereinigt: „Tiefe, inselleere oder nur von Korallenbauten besetzte Meeresteile bilden sehr häufig Senkungsfelder, denen auch begrenzende Küsten zugerechnet werden können. Mittelmeere zeigen vorwiegend aufsteigende Küsten. Auf sinkenden Gebieten fehlen thätige Vulkane. Eine Küste mit thätigen Vulkanen befindet sich in der Hebung. Diese beiden Sätze lassen aber keine Umkehrung zu, denn auch viele vulkanfreie Gebiete, z. B. Skandinavien, steigen. Die geologische Zusammensetzung und das geologische Alter der Gebiete scheint auf die Richtung ihrer Bewegung ohne Einfluss zu sein. Die Verteilung von Hebung und Senkung ist einem unaufhörlichen Wechsel unterworfen. Das anscheinende Vorwiegen von Hebungen gegen Senkungen erklärt sich durch die leichtere Nachweisbarkeit der ersteren." Was diesen zuletzt genannten Punkt angeht, so muss er als vollständig richtig (vgl. S. 565) anerkannt, es muss aber auch hinzugefügt werden, dass unser ganzes Wissen von solchen Strandverlegungen, welche der geologischen Gegenwart angehören, auf recht schwachen Füssen steht.

Dessen wird man besonders dann eingedenk, wenn man genötigt ist, von einer einzigen, an sich doch immer einer verschiedenartigen Deutung fähigen Thatsache auf ganz abnorm heftige geologische Umgestaltungen zu schliessen. Das trifft beispielsweise zu für das Serapeum (S. 566), und man darf sich nicht wundern, dass Versuche gemacht wurden, durch gewaltsame Zerschneidung des gordischen Knotens aus dem Dilemma herauszukommen. Wir führen diese Auskunftsmittel gleich hier an, um später in der sachlichen Erörterung nicht durch sie aufgehalten zu werden. Der gelehrte Reisende und Montanist Russegger soll einmal die Aeusserung gemacht haben [231]: „Ich kann mich gar nicht des Gedankens entschlagen, dass die Pholadenlöcher schon von vornherein im Kalksteine vorhanden waren, aus welchen die Säulen gebrochen wurden, und dass die Alten, ohne zu ahnen, welch harte Nuss sie dadurch den Gelehrten späterer Zeiten zu knacken gaben, sich kühn über diesen kleinen Uebelstand hinwegsetzten." In anderer Weise geht Brauns (S. 567) vor. Er stellt in Abrede, dass der Zweck des Bauwerkes ein religiöser gewesen sei; man habe sich darunter vielmehr eine Piscine, einen Fischbehälter, zu denken, wie deren römische Genussucht in dem üppigen Kampanien mehrere angelegt habe. In dem zu dem Ende in das Gebäude geleiteten und darin aufgestauten Wasser seien auch essbare Muschelarten gezogen worden, und dass die Geschmacksverfeinerung der Römer manche Dinge essbar fand, denen die Folgezeit diese Eigenschaft abgesprochen hat, muss allerdings zugestanden werden Ein gewichtiges Wort hat bei der Erörterung der Braunsschen Hypothese die Archäologie mitzureden; von naturwissenschaftlicher Seite hat man sich gegen erstere im ganzen ziemlich ablehnend verhalten.

§. 7. **Aeltere Theorien der Strandverschiebung.** Nachdem die Zweifel überwunden und für die Veränderung der Küstenlinie Anhaltspunkte von höchster Beweiskraft gewonnen waren, musste man daran gehen, sich von den thatsächlichen Befunden auch kausale Rechenschaft zu geben. Von allem Anfange an war die Auffassung jene zweigeteilte, die sie heute noch ist; die einen betrachteten die Erdfeste, die anderen das Meer als das Bewegliche. Selbstverständlich war auch dann, wenn man sich für die eine oder andere der beiden Möglichkeiten entschied, die Aufgabe noch nicht gelöst, denn nun handelte es sich erst darum, die Bewegungsursachen zu erforschen. Seit beinahe zweihundert Jahren wird daran gearbeitet, das verwickelte

Phänomen ursächlich zu begreifen; Penck hat [232] die Stadien eines langsamen und noch keineswegs abgeschlossenen Erkenntnisfortschrittes präzis gekennzeichnet.

Die grosse Mehrzahl Derer, welche sich litterarisch mit den Strandverschiebungen befassten, nahm ein Schwinden oder Ansteigen des Wassers an, je nachdem jene Verschiebung kontinental oder marin war. Zumal De Maillet, der vielleicht am frühesten Wahrnehmungen über den Landzuwachs der Mittelmeerküsten gemacht hatte [233], hatte sich auch bereits ein System der Erklärung zurechtgemacht, welches er in einem voluminösen, den Autornamen verkehrt an der Spitze tragenden Werke [234] auseinandersetzte; da dasselbe erst posthum erschien, so war zur Zeit seiner Herausgabe der litterarische Streit bereits in lebhaftem Gange. Das Meer, so lautete Telliameds Glaubensbekenntnis, nimmt unausgesetzt an Volumen ab. Nicht so radikal war der Standpunkt Swedenborgs [235] (S. 564); ihm zufolge war zwar die Gesamtmenge des terrestrischen Wassers zu allen Zeiten wesentlich die gleiche, aber doch variierten die Wasserstände, indem einem Sinken des Meeres in hohen Breiten eine Erhebung desselben gegen den Aequator hin entsprach. Sehr nüchtern fasste Manfredi (S. 566) die Sache an, indem er das Versinken einzelner Küstenstrecken der Adria mit dem durch die Sinkstoffe der Alpenflüsse bedingten Ansteigen des Meeresspiegels in Verbindung brachte. Ungleich tiefer dachte Celsius (S. 564) der Sache nach; er verknüpfte sie mit kosmogonischen Spekulationen (Abt. I, Kap. I) und legte jedem Weltkörper die drei Entwickelungszustände der Inundation, eines gewissen neutralen Verhaltens und endlich der Konflagration (Sonne) bei. Dadurch, dass die Inundation, welche bei den äusseren Planeten noch die Norm bildet, nachzulassen beginnt, wird die Erde allgemach in den vom Schöpfer gewollten und durch Schaffung des Paradieses eingeleiteten Zwischenzustand übergeführt, der später einmal aufhört, wenn nämlich unser Wohnkörper in Flammen aufgeht. Die schwedischen Physiker vertraten, den einzigen Browallius (S. 564) abgerechnet, durchweg analoge Ansichten, obwohl sogar die Staatsgewalt gegen die angeblich gefährliche Lehre einschreiten zu müssen glaubte [236]. Dieselbe geriet in ein ruhigeres Fahrwasser erst dann, als Nordenankar (S. 564) die Wasserverminderung auf verstärkten Abfluss der Ostsee durch ihre drei Zugangspforten zurückführte. Periodischen Wechsel von Ueberflutung und Wasserarmut glaubte Runeberg [237] (vgl. S. 330) aus der Wechsellagerung gewisser Torfmoorschichten herauslesen zu sollen, und auch andere konnten sich das Auftreten von parallel geordneten Baumstümpfen innerhalb der Moore nicht denken, ohne an die Mitwirkung einer Flut zu appellieren. Neben Degener [238] sind da besonders Woodward [239] und Scheuchzer [240] zu nennen, deren Wahrnehmungen Thebesius [241] zu einer Art von Theorie zusammenzufassen suchte. Wie man sieht, war eben doch fast ausschliessend von Wasserbewegungen die Rede, mochten dieselben nun wie immer zu stande gekommen sein, und auch Frisis (S. 565) anscheinend mathematisch gestützte Behauptung, die Oberflächengestalt einer rotierenden Flüssigkeit habe Spiegelschwankungen zur notwendigen Folge, führte zu keiner prinzipiell verschiedenen Anschauung.

Wenn wir mit Penck (s. o.) Telliamed und Swedenborg als die Väter der Desiccationstheorie (desiccatio, Austrocknung) bezeichnen können, lassen sich die Doktrinen der übrigen Angehörigen des XVIII. Jahrhunderts unter dem Namen Fluktuationstheorie zusammenfassen; derselbe passt auch auf das, was Penck die Exturbationstheorie nennt (exturbatio, Austreibung). Manfredi und Nordenankar huldigten einer solchen, wenn sie auch in der Annahme der Agentien, welche die Meere aus den bisher eingenommenen Becken verdrängten, nicht übereinstimmten. Gegen Ende des Jahrhunderts beginnt aber die — gleichfalls wieder unter verschiedenen Modalitäten auftretende — Elevationstheorie (elevatio, Erhebung) ihr Recht geltend zu machen, und in Bälde sehen wir, dass sie die unbedingte Herrschaft über die Geister an sich gerissen hat.

Dem unter der festen Erdrinde lodernden Zentralfeuer teilte Runeberg [242] die Hauptrolle beim Aufsteigen der Küsten zu, aber ihm fehlten, solange er sich auf das ihm bekannte Skandinavien beschränkte, die Erfahrungen, welche anderwärts an die wirkliche Bildung von Neuland unter der Einwirkung subterraner Kräfte sich anknüpften. Der Führer derjenigen, welche solche Erscheinungen unter dem gleichen Gesichtspunkte mit der langsamen Küstenhebung betrachtet wissen wollten, war A. L. Moro [243]. Sein oberster Grundsatz war: Niemals hatte das Meer die Gipfel der Berge bedeckt, sondern stets weisen marine Organismen, welche man ausserhalb ihres Lebenselementes gefunden hat, auf Hebung der Erde hin. Natürlich bereitete es, wenn man so dachte, einige Schwierigkeiten, dass einzelne Berge reich an Versteinerungen waren, andere — und zwar niedrigere — derselben entbehrten, allein da half der Ausweg, Höhen der zweiten Gattung seien erst dann aufgestiegen, „nachdem der allererste Steingrund des Meers, welchen Marsilli den wesentlichen nennet, mit tragbaren Erdmaterien bereits überzogen gewesen, und die also fruchtbare Oberflächen haben“ [244]. Gerade die Art der Lagerung der Fossilien spreche zu gunsten einer Hebung durch plutonische Aktion. Die Seetiere sollen die Neigung haben, sich in den Meeresgrund, der als sandig oder erdig vorausgesetzt wird, einzugraben. „Wenn nun ein solcher Grund von unterirdischem Feuer über das Wasser aufgetrieben, und ein Berg daraus wird, wie kann ein Berg in denen Stellen, wo der Grund voll solcher Tiere gelegen hat, anders werden, als dass die Stücken der Schalen so eingeschichtet ineinander liegen, wie es in einigen dergleichen Bergen wirklich gefunden wird?“ [245]. Die Ausführungen Moros haben zu ihrer Zeit in weiten Kreisen Anklang gefunden und der — immerhin gemässigteren, weil minder kataklysmatischen — Ansicht vorgearbeitet, welche Playfair [246] und v. Buch [247] befürworteten. Sonst eben kein Gegner der Hypothese, dass Kataklysmen (κατακλυσμός, Ueberschwemmung; im übertragenen Sinne so viel wie gewaltsame Umwälzung) bei der Gestaltung der Erdoberfläche stark beteiligt seien, neigte der grosse deutsche Geologe in vorliegendem Falle mehr den Lehren der quietistischen Schule (quies, Ruhe) zu, die bald nachher in Lyell ihren ausgezeichneten Systematiker fand, wie dies Pencks Nekrolog des letzteren [248] an der Hand seiner Arbeiten geschildert hat.

E. Suess citiert wörtlich die markantesten Sätze v. Buchs [249]: „Gewiss ist, dass der Meeresspiegel nicht sinken kann; das erlaubt das Gleichgewicht der Meere schlechterdings nicht. Da nun aber das Phänomen der Abnahme sich gar nicht begreifen lässt, so bleibt, soviel wir sehen, kein anderer Ausweg als die Ueberzeugung, dass ganz Schweden sich langsam in die Höhe erhebt, von Frederikshald bis gegen Åbo und vielleicht bis gegen St. Petersburg hin.“ Obwohl v. Hoffs geschätztes Werk gegen diese Erklärung, welche als eine „desperate“ hingestellt wird, lebhafte Opposition erhob [250], drang erstere doch mehr und mehr durch, zumal nachdem Lyells [251] überzeugende Darlegung ihr zu Hilfe gekommen war. Man darf behaupten, dass diese neuere Art, die Elevationstheorie plausibel zu machen, eine Art, welche freilich von Jessens (S. 564) und Moros (s. o.) kühnen Spekulationen sehr abstach, längere Zeit keinen ernsten Widerspruch fand. Phillips [252], Rickets [253], Möhl [254] (vgl. I, S. 436), Pilar [255] sind Anhänger der Lehrmeinung, dass hochgespannte Dämpfe eine Auftreibung der Erdrinde verursachen, während das Sinken der Kontinente mit dem Nachsacken der Vulkane in Parallele zu stellen sei. Auch Peschel deutet [256] die Möglichkeit an, die Schaukelbewegung durch das Einsinken einer Rindenscholle in den zentralen Glutbrei zu erklären, weil die so komprimierte Flüssigkeit nunmehr ein anderes Rindenstück in die Höhe treiben müsse; wenn er der verlockenden Hypothese trotzdem seinen Beifall versagt, so geschieht das bloss deswegen, weil die seit Hopkins (I, S. 346) mehr verbreitete Lehre von einer ziemlich dicken Erdkruste ihm die Zustimmung unmöglich macht. Tiefere Einsicht in die Natur des Erdinneren (Abt. III, Kap. II) musste überhaupt der vulkanistischen Auffassung des Problemes der Strandverschiebung den Boden entziehen.

Neben den bisher besprochenen, die Diskussion beherrschenden Theorien ging noch ein schüchterner Lösungsversuch der obschwebenden Schwierigkeiten einher. Man glaubte nämlich teilweise, der Erdschwerpunkt entbehre der Stabilität, und die Erdgewässer

seien infolgedessen zu kontinuierlichen ausgleichenden Strömungen genötigt. Seitdem Sulzer [257] zuerst eine dahin zielende Vermutung ausgesprochen und v. Justi [258] dieselbe dahin ergänzt hatte, dass sich die Erdpole nie längere Zeit am gleichen Orte befänden, hat es immerwährend Anhänger dieser Translokationstheorie gegeben, allein wir sind tieferen Eingehens in dieselbe überhoben, weil wir bei anderen Gelegenheiten sie schon berührt und den gegen sie sprechenden Gründen zu ihrem Rechte verholfen haben.

Dies geschah, als wir von den Achsenschwankungen der Erde (I, S. 270 ff.) und von den Hypothesen über die Bedingungen der sogenannten Eiszeit (S. 334 ff.) zu handeln hatten. Bezüglich der Arbeiten von Adhémar, Schmick, Croll u. s. w. verweisen wir auf diese Abschnitte und auf die früher gegebene zusammenhängende Darstellung [259]. Prevosts Ideen [260] über eine periodische Ueberschwemmung gewisser Erdpartien kommen in letzter Instanz auf die gleiche Translokationstheorie hinaus, gegen welche zuerst Wrede [261], nachdem er selber zuvor verwandten Anschauungen gehuldigt hatte [262], Stellung nahm. Durch Shaler [263], Suess [264] und insbesondere Veltmann [265] ist den Umsetzungshypothesen, welche übrigens durch Brenner [266] und v. Niessl [267] bis zu einem gewissen Grade mathematisch zu rechtfertigen versucht wurden, mehr und mehr der Boden entzogen worden. Auch Peschels Widerlegung [268] verdient eine allgemeinere Beachtung. Man musste sich überzeugen, dass dem Verständnis der in den verschiedenen Gebieten auch so verschieden auftretenden Strandlinienverlegung nicht durch eine generell schematisierende, sondern nur durch eine dem individuellen Falle sich anpassende Erklärung beizukommen ist.

§. 8. **Neuere Theorien der Strandverschiebung.** Wir werden uns, wenn wir uns die grosse Fruchtbarkeit der Vergangenheit in der Erfindung mehr oder weniger einleuchtender Erklärungen vergegenwärtigen, nicht darüber wundern dürfen, dass auch die neuere und neueste Zeit zum Teile wieder auf Gedankengänge zurückgegriffen hat, die uns bereits bekannt sind. Nur freilich ist die Form vielfach eine andere geworden, und die Begründung entsprach dem erweiterten und vervollkommneten wissenschaftlichen Standpunkte, den die Geophysik überhaupt erreicht hatte. Die Desiccationstheorie feiert ihre Auferstehung als Absorptionstheorie; den Rückgang der Meere, welcher anderen Ortes von einer Erhöhung des Niveaus kompensiert wird, deutet ungleich befriedigender, als jede der Vorgängerinnen, die Kontraktionstheorie; die zweifellos gesunde Grundauffassung der Exturbationslehre (S. 578) verbindet Suess organisch mit neuen Ansichten über Meeresversetzung in seiner Theorie der eustatischen Bewegungen (richtiger eustathisch; von εὐστάθεια, Beständigkeit). Endlich verdienen volle Aufmerksamkeit zwei Theorien, welche von gewissen Besonderheiten in der Anordnung der Strandscheuermarken Rechenschaft zu geben beabsichtigen. Wir werden die eine derselben als glaziale Attraktionstheorie, die andere als Abdämmungstheorie in unsere Klassifikation aufnehmen. Auch wird sich ergeben, dass die vulkanische Hebungstheorie noch immer als für gewisse Einzelfälle subsidiär anzusehen ist. Für die folgende Uebersicht hat eine die wichtigsten Punkte der neueren Theorien hervorhebende Abhandlung v. Drasches [269] nützliche Dienste geleistet.

a) **Absorptionstheorie.** Die alte Hypothese der Schweden (S. 564), dass der Wasservorrat auf der Erde langsam, aber stetig, seiner Erschöpfung entgegengehe, wurde von Trautschold [270] und Tyler [271] wieder aufgenommen und mit einer

neuen, chemisch-physikalischen Begründung versehen. Durch Gesteinshydratisierung gehe unausgesetzt tellurisches Wasser der Hydrosphäre verloren, und gleichzeitig absorbiere die in progressivem Abkühlungszustande befindliche Erde (I, S. 328) gewisse Wassermengen, welche nicht wieder an die Erdoberfläche zurückkehrten. Die chemischen Prozesse der Gesteinsbildung und Gesteinsmetamorphose, welche auf solchen Wasserverlust schliessen lassen, sind von Lemberg [272] untersucht worden. Auch Reyer [273] erörtert die hohe, nicht immer genugsam gewürdigte Bedeutung, welche den auf der Erde und in ihren obersten Schichten sich kontinuierlich abspielenden Absorptionsvorgängen beigemessen werden muss. Die Wasserverminderung erklärte allerdings bloss die negativen Bewegungen der Strandlinien; um die positiven, die jetzt thatsächlich, nicht bloss halb zufällig (S. 565) als die selteneren galten, ebenfalls begreifbar zu machen, nahm man seine Zuflucht zur Unterwaschung und Auslaugung von Ufergestein, sowie zum Zusammensintern von Schlammassen. Die Erde geht dieser Hypothese zufolge durch Austrocknung, nicht durch Verbrennung, in den uns vom Monde (I, S. 130) her bekannten Schlackenzustand über. Indessen wird man zugestehen müssen, dass die Wasserabnahme, ihre Realität zugestanden, nur sehr langsam weiterschreitet, und dass es jedenfalls noch weit hin ist bis zur Bewahrheitung von Trautscholds Ausspruch (s. o.): „Après nous la sécheresse et le froid.“ Uebrigens macht Jentsch [274] gegen die Absorptionstheorie einen sehr bemerkenswerten Einwurf. Nicht alles Wasser, das in die Ritzen und Spalten der Erdrinde eindringt, wird dort chemisch gebunden, sondern da es in grösserer Tiefe sehr warm ist (Abt. I, Kap. I), so wird ein namhafter Teil in Dampf verwandelt, und zumal bei den vulkanischen Eruptionen wird viel Sickerwasser in Dampfform der Aussenseite zurückgegeben. — Seit den vierziger Jahren steht eine nahe verwandte Frage auf der Tagesordnung, die Frage der fortschreitenden Wasserabnahme in Flüssen und Seen. Wir gedachten ihrer schon anlässlich der Klimaveränderungen (S. 342) und suchen nun ein treffendes Urteil über sie zu gewinnen, wobei uns die konzise Hervorhebung der Punkte, auf die es ankommt, durch Goetz [275] zu statten kommt. H. Berghaus [276] und Wex [277] hatten die langsame Erniedrigung der Flusspegelstände behauptet; als Ursache dachte man sich eben zunächst chemische Metastasen (Anhydrit in Gips, Eisenoxydul in Eisenoxydulhydrat u. s. w.), dann aber auch den Fortschritt der Bodenkultur und die zunehmende Entwaldung [278]. Mit letzterer alles erklären zu wollen, muss man sich wohl hüten (vgl. Abt. V, Kap. VII, § 12), und zudem ist, wie Zöppritz [279] mit Beziehung auf G. L. Hagen und andere Hydrotechniker bemerkt, die Sache selbst keineswegs unzweifelhaft festgestellt; am Rhein z. B. lässt sich eine Abnahme des Wassers nicht nachweisen, und anderwärts konnte diese als scheinbar, als eine blosse Folge der Tiefenerosion des fliessenden Wassers, erkannt werden. Auch meteorologische Faktoren können lokal den Wasserstand erniedrigen, wie dies von ungarischen Flüssen und auch am Meere schon zu Tage trat [280]. H. Fritz hat [281] für eine Anzahl europäischer und aussereuropäischer Gewässer eine mühsame Untersuchung durchgeführt, deren Ergebnis ist, dass keine dauernden Wasserverluste, sondern nur schwache Oszillationen um ein Mittel zu verzeichnen sind. Eine ganz ablehnende Haltung nahm gegenüber der bedingungsweise bejahenden von Goetz [282] im Gegenteile Brückner [283] ein, indem er die Schwankungen der Wasserstände für periodisch erklärte und hauptsächlich als eine Folge des uns (S. 330) bekannten 35jährigen Zeitraumes klimatischer Oszillation ansprach [284]. — Hier kann relative Gewissheit nur die genaueste Durcharbeitung regionaler Beobachtungsthatsachen bringen, wie eine solche Sieger für Skandinavien durchgeführt hat (S. 560). Als wichtigste Ergebnisse dieser Untersuchung heben wir die folgenden hervor [285]: Die Wasserstandsschwankungen der schwedischen Binnenseen sind durch die Periodizität klimatischer Faktoren bedingt, während die Pegelstände der Ostsee neben jener auch noch die wechselnden Faktoren des Luftdruckes, der Windstärke und der Windrichtung abspiegeln; zwischen der deutschen und schwedischen Küste besteht Gleichheit bezüglich der Dauer der Jahresperioden, nicht aber bezüglich der Grösse der Stranddifferenzen; die Periode, nach deren Ablauf sich wieder der frühere Stand einstellt, ist wesentlich die Brücknersche (s. o.); die Entfernungen der Maxima und Minima der Seenpegelstände vom Mittelwasser sind gering; säkuläre Veränderung des schwedischen Klimas lässt sich nicht beweisen; für Schwedens und Finnlands Küsten sind Oszillationen festgestellt, denen keine klimatische Ursache zu Grunde liegt. Dieser letzte Satz ist hier für uns von besonderer Tragweite, denn er zeigt uns, dass die

Strandverschiebungen durch die Absorptions- und Desiccationstheorie allein nicht erklärt werden können. Einerlei, ob mehr oder weniger Wasser im Meerbecken sich befindet, die Bewegung der Küstenlinie ist trotzdem eine reelle und von anderen Faktoren abhängige.

b) Kontraktionstheorie. Unser Planet schwebt, wie wir wissen (I, S. 328) frei im kalten Weltraume und kühlt sich demzufolge durch unaufhörliche Ausstrahlung ab (I, S. 102). Dadurch muss er natürlich auch eine Volumverminderung erfahren, die, so langsam sie auch fortschreiten mag, trotzdem in der Oberflächenverminderung des Weltkörpers zum Ausdrucke kommen muss. Angesichts der sehr ungleichen Strahlungs- und Wärmeleitungsfähigkeit der Stoffe, aus denen die äusseren Erdlagen bestehen, werden nicht alle Teile der Erdrinde sich gleich stark zusammenziehen, und so werden sich an der Oberfläche Niveauungleichheiten herausbilden, auf welche die Hydrosphäre in ihrer leichten Beweglichkeit durch Ortsveränderung reagiert. Diesen Gedanken haben zuerst F. W. Johnston [286] und Berzelius [287] in die Diskussion geworfen, wie von Sieger [288], Holmström [289] und dem Verf. [290] dargethan worden ist. Die Gebirge seien durch Runzelung der sich faltenden Erdrinde, so argumentiert Johnston, aufgestaut worden, und als Isoanabasen — (vgl. S. 569), der Schotte hat nicht das Wort, wohl aber den Begriff — zögen sich um diese Falten die horizontalen Linien, welche anzeigen, wie hoch an ersteren in verschiedenen Epochen das Wasser hinaufreichte. Uebrigens haben nach Johnston [291] auch Sedimentablagerungen zur örtlichen Erhebung der Gewässer beigetragen. Mutmasslich ist durch jenen Vorgänger Berzelius zu seiner Beschäftigung mit dem Gegenstande angeregt worden; er gelangt aber zuerst zu einer weit klareren Interpretation des Vorganges, den er in nachstehendem, musterhaft klarem Wortlaute kennzeichnet: „Die Ursache des Phänomenes ist die allmählich stattfindende Abkühlung unserer Erde, wobei sich der Durchmesser vermindert und die erstarrte Rinde entweder leere Zwischenräume zwischen sich und dem Geschmolzenen lassen oder nachsinken muss, wobei sie jedoch einen zu grossen Umfang hat, um nicht Falten oder Biegungen zu bilden, so dass sich auf der einen Seite Teile erhöhen, auf der anderen senken müssen.“ Dieser Satz reicht aus, um dem genialen Chemiker auch seinen Platz in der Entwickelung der dynamischen Geologie zu sichern. Die Zeitgenossen haben die in unscheinbarer äusserer Form auftretende Bemerkung ignoriert; nur der einzige Muncke machte den Einwurf geltend [292], ob Berzelius denn nicht daran gedacht habe, dass die von ihm behauptete Verkürzung des Erdhalbmessers auch eine Beschleunigung der Erdumdrehung nach sich ziehen müsse. Was hierüber zu sagen ist, wurde schon früher (I, S. 233) als am geeigneten Platze vorgebracht. Im übrigen war sich Berzelius darüber klar, dass auch noch andere Umstände in Betracht kommen könnten, spontane Wasserbewegungen, wie sie oben zu skizzieren versucht wurden. Die Arbeiten v. Schulténs, der [293] ein Ab- und Zuströmen des Wassers zwischen Ost- und Mälar-See nach Massgabe der für die Seiches (S. 457) geltenden Gesetze für wahrscheinlich hielt, hatten auch dieses Moment als ein nicht ganz unwichtiges hervortreten lassen. — In neuester Zeit erst hat man, bei einer ganz neuen Auffassung des Gebirgsbildungsproblemes (Abt. VIII, Kap. V) angelangt, die Krustenbewegungen auch in ihrer Bedeutung für die Küstenverschiebungen zu studieren begonnen. Aus den an der lykischen Küste Kleinasiens beobachteten Verlegungen der Strandlinie zog Tietze [294] den Schluss, dass ohne die Annahme eigentümlicher kontinentaler Bewegungen zunächst nicht auszukommen sei, und Löwl [295] pflichtet ihm darin bei, indem er namentlich ermahnt, nicht lediglich die Wassergrenze ins Auge zu fassen, sondern auch den analogen Erscheinungen „in den Bruchregionen des Festlandes“ nachzuspüren. Die Schollen, in welche wir uns die mannigfach in ihrem Zusammenhange gestörte Erdrinde zerlegt zu denken haben, sind besonderen Bewegungsimpulsen des Sinkens und Steigens unterworfen. „Derselbe Gebirgskeil, welcher heute seine Nachbarn überragt, wird in einer späteren Phase des Einbruches vielleicht versenkt. Nur unter diesem Gesichtspunkte lassen sich die Schwankungen der Inselküsten erklären“ [296]. Auch mit den schwedischen Verschiebungen der Wasserlinie im negativen Sinne verhält es sich nicht anders. Nachdem (s. o.) keine Aussicht mehr besteht, ausschliesslich durch Veränderungen der Hydrosphäre die Landhebung darzustellen, muss diese selbst als reell vorhanden angenommen oder, mit Sieger [297], ein „beulenförmiges Anschwellen“ des skandinavischen

Schildes als unbedingt existierend zugestanden werden. Einstweilen mögen diese Bemerkungen genügen, da ja doch die Einschrumpfung im morphologischen Abschnitte noch eine einflussreiche Rolle zu spielen hat.

c) Theorie der eustatischen und oszillatorischen Bewegungen. Auch E. Suess ist, wie man weiss, einer der entschiedensten und überzeugtesten Vertreter der Kontraktionslehre, und so kann seine Begründung einer selbständigen Theorie der Strandverschiebung von vornherein als eine Ausgestaltung derjenigen angesehen werden, von welcher wir soeben Akt zu nehmen hatten. Nur freilich schreibt er, da er (Abt. VIII, Kap. II) die tangentialen Rindenbewegungen als die weitaus vorherrschenden betrachtet, den Hebungen und Senkungen so gut wie gar keinen, den Umsetzungen der Meere, teilweise als einer naturnotwendigen Konsequenz des Kontraktionsprozesses, die integrierende Wirksamkeit bei der Veränderung der Küstenlinien zu. So hielt er es schon in der programmatischen Ankündigung [298] seines grossen Werkes, und dieses selbst führt naturgemäss den zuvor nur skizzierten Gedanken weiter aus [299]. Es scheidet grundsätzlich die bereits (S. 576) erwähnten eustatischen Bewegungen von universalen Oszillationen, welche die ganze Erde kraft einer allgemein-tellurischen Ursache in Mitleidenschaft ziehen. Der Erdball, dies ist seine Ansicht, sinkt ein, das Meer folgt nach. Eine Bewegung der Meere ist dann eustatisch-negativ [300], wenn sich durch regionalen Zusammenbruch eines Rindenteiles ein Meerbecken bildet; andererseits steht diesen Senkungen der Wasserlinie da und dort eine Bewegung gegenüber, welche als eustatisch-positiv [301] zu bezeichnen ist, und deren Auslösung ist durch Ablagerung der zerstörten Landmassen bewirkt worden. Sedimentbildung veranlasst stetige, eustatisch-positive Bewegungen der Küstenlinie. Auf die Bedeutung dieses Momentes hatte auch F. Pfaff [302] aufmerksam gemacht. — Wie erwähnt, glaubt nun aber Suess durch dieses Wechselspiel beständiger Bewegungen nicht der Gesamtsumme der beobachteten Erscheinungen gerecht werden zu können. Die Art und Weise, wie ältere und jüngere Schichten gelagert sind, scheint ihm nicht sowohl die majestätische Rhythmik der eustatischen Bewegungen, als vielmehr zahlreiche kleinere Oszillationen als Erklärungsursache zu erheischen. Da macht sich eben der (S. 576) berührte Uebelstand fühlbar, dass negative Strandverschiebungen ungleich leichter und sicherer als positive nachzuweisen sind; das vielfach herangezogene Kriterium der unterseeischen Flussrinnen, zu denen uns Kap. IV der nächsten Abteilung zurückführen wird, und für welche die verdienstliche Monographie von Linhardt [303] vorliegt, will Suess durchaus nicht als beweiskräftig gelten lassen [304]. Weder die gewöhnliche Elevationstheorie, noch die an die Verlegung des Erdschwerpunktes anknüpfenden Theorien können die Mannigfaltigkeit der über die ganze Erde verteilten Merkzeichen der Meeresbewegung verständlich machen. „Soweit es möglich ist, die Thatsachen zu beurteilen, scheint es vielmehr, als würde Anhäufung von Wasser gegen den Aequator und Minderung gegen die Pole das Merkmal der jüngsten Bewegung sein, und als wäre dies nur eine der Oszillationen, welche im selben Sinne, d. h. mit positivem Uebergewichte am Aequator und mit negativem Uebergewichte an den Polen, sich folgen“ [305]. Ob dabei, wie Blytt andeutet [306], kosmische Ursachen oder, was auch Suess für nicht unmöglich erachtet, Schwankungen in der Zentrifugalbeschleunigung des sich zusammenziehenden Erdballes mitwirken, bleibe auf sich beruhen; im besten Falle ist die Zeit noch nicht gekommen, um sich über eine Angelegenheit von solcher Tragweite ein Urteil zu bilden. Wollte man nach tiefer liegenden Triebfedern suchen, so wäre wohl auch an die Verlegungen der Rotationsachse im Erdinneren (I, S. 274) zu denken. Lamp hat [307] berechnet, dass die nachgewiesenen Achsenschwankungen recht wohl durch alternierende Meeresumlagerung erklärt werden können; läge es da nicht einigermassen nahe, den Gedankengang umzukehren und aus den irgendwie zu deutenden Bewegungen der Erdachse die oszillierende Meeresumsetzung im Sinne von Suess herzuleiten? — Man sieht, dass jeder Versuch, die verwickelten Erscheinungsbilder zu klären, vor neue Rätsel stellt, aber wie man sich gegen diese auch im einzelnen verhalten mag, so bleibt doch gewiss das bestehen, dass durch Suess der schwerwiegende Anteil wirklicher Meeresbewegungen an den Vorgängen der Strandverschiebung ausser Zweifel gesetzt worden ist. Auch Loewinson-Lessing [308] erklärt sich zu gunsten der Annahme einer steten Ueberführung polarer Gewässer (vgl. S. 492) in die Aequatorialgegenden, indem er allerdings ausgedehnte Senkungen im Bereiche der

tropischen Weltmeere als Bedingung für das Zustandekommen dieser langsamen Kompensationsströmung bezeichnet.

d) Glaziale Attraktionstheorie. Rozet begann [309] dem Anscheine nach damit, die von Cuvier u. a. erwiesenen Ueberflutungen des Pariser Tertiärbeckens mit einer Veränderung in der Anziehung der Festlandmassen auf das Meer in Zusammenhang zu bringen. Die Alpen, so meinte er, hätten durch ihre Erhebung das Potential (I, S. 211) Europas verändern müssen. Die neueren Phasen der hiemit angebahnten Gedankenreihe sind von Penck [310] umsichtig charakterisiert worden; ihm zufolge hat Bruchhausen (I, S. 193) eine weitere Ausführung dessen angebahnt, was Rozet beabsichtigt hatte, allein seine Bemühungen verliefen im Sande [311]. Die exakten Grundlagen für die Lösung solcher Aufgaben wurden erst von Zöppritz [312] und Fisher [313] geschaffen; sie gaben durch Potentialbetrachtung Mittel an die Hand, um die Deformationsbeträge zu schätzen, welche die vorher ungestörte Meeres- (oder Geoid-) fläche alterieren, sobald im benachbarten Festlande Massenverschiebungen stattfinden. Besonders zwei Strandlinienphänomene mussten als einer auf Attraktionswechsel beruhenden Erklärung besonders zugänglich erscheinen: Die ruckweise Verschiebung auf der einen und die Abweichung gewisser Strandlinien von der Horizontalen auf der anderen Seite. Dass man in manchen Fällen, in denen sich (vgl. S. 563) mehrere parallele Streifen in den Uferfels eingegraben zeigen, nicht mit einer kontinuierlichen, sondern direkt mit einer abrupten Bewegung, sei es nun der Hydro- oder der Lithosphäre, zu thun habe, wurde von einem der gründlichsten Kenner der norwegischen Verhältnisse, von Pettersen [314], entschieden betont; nicht minder sprach sich H. Miller [315] betreffs der Strandlinien bei Trondjem für eine Reihe getrennter Landhebungen aus. Der trefflichen geschichtlichen Skizze Sandlers [316] ist zu entnehmen, dass Keilhau [317], Kjerulf [318], Mohn [319], Sexe [320] in einer ersten Veröffentlichung die in Absätzen stattfindende Hebung befürworteten, wogegen der letztgenannte Forscher allerdings später diesen Gebilden den marinen Ursprung absprach [321] und damit zugleich die Eigenschaft nahm, welche man als eine auszeichnend typische betrachtet hatte. Dem gegenüber ist zu bemerken, dass Macfodzeane [322] unter den sechs Hypothesen, welche er für die Parallelstreifung von Lochaber anführt, derjenigen den Vorzug gibt, welche beweisen will, dass die in Absätzen steigende See den Küstenfels „terrassierte“. Mit der Vereisung des betreffenden Landes glaubte man durchweg die Entstehung der Strandlinien ursächlich in Verbindung bringen zu müssen [323]. Und hier eben setzte Penck (s. o.) ein. Je nachdem, so schloss er, ein mehr oder minder kompakter Eismantel das Land umhüllt, wird das angrenzende Meer mehr oder minder stark aus der Ruhelage emporgehoben, welche ihm in eisfreier Zeit zukommt; nun hat es aber — vgl. Abt. VIII, Kap. III — verschiedene Uebereisungsperioden gegeben, welche durch Intervalle relativ normalen Klimas getrennt waren, und als sichtbares Zeichen jeder Eiszeit ist eine in das anstehende Ufergestein eingegrabene Niveaumarke übrig geblieben. Auch die zumal von Bravais [324] (S. 562) entdeckte Konvergenz der in Fjorden beobachteten Strandlinien glaubte Penck [325] einfach begründen zu können; wie auch der Meeresspiegel beschaffen sein möge, jedenfalls ist er im gegebenen Falle, sobald vollkommene Ruhe eingetreten, eine Gleichgewichtsfläche, und dass Gleichgewichtsflächen nicht auch zugleich Parallelflächen sein müssen, das war eines der wichtigsten Ergebnisse unseres Studiums (I, S. 217) der gestaltlichen Verhältnisse der Niveauflächen. — Man wird Pencks Lösung des Problemes immer als eine geistvolle anerkennen müssen, wenn man auch zugibt, dass sie die quantitative Prüfung nicht ebenso zu bestehen vermag, wie die qualitative; Eisattraktion vermag Meereshebung zu bewirken, nicht jedoch eine so beträchtliche, wie sie aus den Beobachtungen und auch aus Pencks Ueberschlagsrechnung sich ergibt. Das folgt schon (s. o.) aus der Formel von Zöppritz, ausserdem aber haben v. Drygalski [326], Hergesell [327] und Woodward [328] auf unseren Fall den Dahlanderschen Lehrsatz (I, S. 179) angewandt, nachdem sie unter geeigneten Voraussetzungen zuerst das Potential der Inlandeismasse bestimmt hatten; an anderem Orte ist hierauf näher eingegangen worden [329]. Diese analytische Untersuchung hat dargethan, dass Pencks Hypothese, so anmutend dieselbe auf den ersten Anblick erscheint, jene gewaltigen Niveaudifferenzen, welche die alten Strandlinien Skandinaviens und Nordamerikas uns vor

Augen stellt, nicht zu erklären vermag; die zur Eisbildung erforderte Wasserverminderung äquilibriert vollständig die von der Eishaube durch eigene Attraktion hervorgebrachte Spiegelerhöhung. Die Theorie der Glazialattraktion, welcher auch Suess [330] einen — allerdings beschränkteren — Gültigkeitsbereich zuzustehen bereit ist, reicht in keinem Falle zur Kausalbegreifung der Strandverschiebungen aus; schon deshalb nicht, weil ja doch das Wasser, welches das Material zur Kalottenbildung liefert, der Hauptsache nach aus dem Meere entnommen werden musste. Dies ist auch von Penck [331] später unumwunden eingeräumt worden.

e) Abdämmungstheorie. Wenn man will, kann man den ersten Anklang an die Hypothese, dass sich die hoch gelegenen Strandlinien in abgedämmten Stauseen bildeten, bei Goethe erkennen, der unabhängig von seinem Vorgänger Pini zu seiner Anschauung gelangte [332]. Er nimmt nämlich an, dass ein Teich angesäuerten Wassers bis zu jener Höhe gereicht habe, an welcher wir die Pholadenlöcher des Serapeums (S. 567) wahrnehmen. Das freie Meer will er von der Mitwirkung gänzlich ausgeschlossen wissen. Mutatis mutandis ist die gleiche Ansicht von sehr geachteter Seite auch für die Fjord-Strandlinien in grosser Höhe vertreten worden; allerdings seien es Scheuermarken, aber das betreffende Thal habe nicht mit dem freien Meere korrespondiert, sondern sei von einem glazialen Stausee erfüllt gewesen. Zumal Hansen hat [333] diese Auffassung mit guten Gründen verfochten, und örtliche Schwankungen von namhafter Amplitude, deren Berücksichtigung Rosén anempfiehlt [334], lassen sich bei solcher Beschränkung weit leichter verstehen, als wenn es sich um das ungeheure Weltmeer handelt. Auch die Lochaber-Linien gestatten Einbeziehung in diese Art der Erklärung, wie Marr [335] gezeigt hat, und Sandler [336] führt zu deren Bekräftigung auch an, dass selbst unter den rezenten, weit bescheideneren Uebereisungsverhältnissen Gletscherstauseen keine Seltenheit sind. Eine grosse Schwierigkeit wird so weggeschafft: „Die Annahme glazialer Stauseen bringt die Abstufungen der Terrassen und Strandlinien mit dem ruckweise erfolgenden Auslaufen jener Seen in Beziehung“ [337]. Nur darf nicht ausser acht gelassen werden, dass nicht das allgemeine Strandlinienproblem, sondern nur ein Sonderfall desselben durch die von Hansen vervollständigte, im Keime aber schon bei Chambers (S. 560) zu findende Kombination getroffen wird.

f) Theorie der vulkanischen Hebung. Diese Theorie gehörte, wie §. 7 darlegte, zu denen, welche in vergangener Zeit die meisten Anhänger zählte; heute sind es deren wohl nur noch wenige, und wir halten es nicht mehr für statthaft, die Strandverschiebungen, wie sie nun auch sein mögen, „zu den durch die vulkanische Thätigkeit hervorgebrachten Wirkungen“ [338] zu rechnen. Nur in seltenen Ausnahmefällen wird noch eine solche Aktion sich als ein geeignetes Hilfsmittel zur Erklärung ganz ausserordentlicher instantaner (plötzlicher) Hebungen verwerten lassen. Bezüglich des Serapistempels von Puzzuoli freilich scheint starke Senkung und nachherige Hebung, falls man nicht auf einen ganz anderen Standpunkt (S. 577) sich stellt, zweifellos zu sein, und seit Forbes [339] ist denn auch ziemlich allgemein an diesem Auswege festgehalten worden, indem man die Landhebung mit der rhapsodischen Erdbewegung, die den Monte Nuovo (I, S. 404) auftürmte, parallel gehen liess. Selbst Suess, gewiss kein Kataklysmatiker, räumt dieser Möglichkeit in seinem alle Ursachen sorgsam erwägenden Essay über das Serapeum [340] eine Stelle ein, und nicht minder gesteht Supan [341] zu, dass, wenn überhaupt, dann hier eine Manifestation endogener Bodenbewegungen (I, S. 452) anzuerkennen sei. Wir verbleiben freilich bei der stets gehegten Ansicht, die wir uns bei Johnston-Lavis [342] wiederzufinden freuten, dass nämlich die Bohrlöcher der angeblichen Tempelsäulen nicht als einwurfsfreies geologisches Dokument verwertet werden dürfen.

Nachdem wir so die ganze Reihe der Theorien durchgemustert haben, welche für die Strandverschiebung aufgestellt worden sind, kommen wir zu einem Schlussfazit, welches von dem, welchem wir schon früher Ausdruck gaben [343], nicht abweicht. Die vulkanischen Ruckhebungen schliessen wir, als zu ungenügend bezeugt, a priori aus; die auf Abdämmung beruhenden Strandlinien scheiden von der Erörterung der grossen Frage gleichfalls aus. Im Einklange mit Suess, wie

auch mit Loewl (s. o.), Toula [344] und H. J. Klein [345] erkennen wir in der Erklärung der kontinentalen und maritimen Strandverschiebungen ein komplexes Problem, welches unter keinen Umständen einer einheitlichen Erklärung fähig ist. Fest aber scheint folgendes zu stehen. Die eustatischen Meeresumsetzungen, hervorgerufen durch Zusammenbrüche der Erdrinde und durch Sedimentanhäufung, sind bei den beobachteten Hebungen und Senkungen ganz gewiss beteiligt, aber es ist daneben auch eine tektonisch bedingte, regionale Landhebung — so vor allem an der skandinavischen Küste — als reell zuzugestehen. Letztere Bewegung dürfte, wie auch Crosby [346] betont, durch den in Abt. VIII, Kap. V eingehender zu würdigenden Umstand ermöglicht werden, dass sich unterhalb der festen Erdrinde eine Kugelschale der latenten Plastizität (I, S. 359) befindet.

[1] H. Berger, Geschichte der wissenschaftlichen Erdkunde der Griechen, I, Leipzig 1887, S. 122. — [2] Herodot, Historiae Apodeixis, lib. II, cap. 3 ff.; Aristoteles, Meteorologia, lib. I, cap. 14. — [3] Strabon, Geographica, lib. I, cap. 49. — [4] H. Berger, a. a. O., III, Leipzig 1891, S. 63 ff. — [5] Diels, Ueber das physikalische System des Straton, S. A. B., 1893, S. 101 ff. — [6] Strabons Erdbeschreibung in siebzehn Büchern, deutsch von Grosskurd, I, Berlin-Stettin 1831, S. 86. — [7] Nehring, Die geologischen Anschauungen des Philosophen Seneca, II, Wolfenbüttel 1876, S. 18. — [8] Peschel-Ruge, Geschichte der Erdkunde bis auf A. v. Humboldt und C. Ritter, München 1877, S. 221. — [9] Kretschmer, Die physische Erdkunde im christlichen Mittelalter, Wien-Olmütz 1889 (P. G. A., IV, 1), S. 118 ff. — [10] Narducci, La compositione del mondo di Ristoro d'Arezzo, Rom 1859, S. 78. — [11] Günther, Studien zur Geschichte der mathematischen und physikalischen Geographie, Halle a. d. S. 1879, S. 161 ff. — [12] F. G. Hahn, Untersuchungen über das Aufsteigen und Sinken der Küsten; ein Beitrag zur allgemeinen Erdkunde, Leipzig 1879. — [13] Sieger, Seenschwankungen und Strandverschiebungen in Skandinavien, Z. G. E. B., XXVIII, S. 1 ff. — [14] Ricchieri, Gli spostamenti delle linee di coste, Florenz 1859; R. G. J., II, 5. u. 6. Heft. — [15] E. Suess, Das Antlitz der Erde, II, Prag-Wien-Leipzig 1888 (3. Teil). — [16] Issel, Le oscillazioni lente del suolo o bradisismi, Genua 1883. — [17] Koepert, Ueber Niveauveränderungen des Festlandes und des Meeres, Altenburg 1888; Ost. M., (2) IV. — [18] Peschel, Neue Probleme der vergleichenden Erdkunde, Leipzig 1878, S. 97 ff. — [19] Peschel-Leipoldt, Physische Erdkunde, I, Leipzig 1884, S. 375 ff. — [20] Sieger, a. a. O., S. 27. — [21] E. Suess, II, S. 20. — [22] Chambers, Ancient Sea-Margins, as Memorials of Changes in the relative Level of Sea and Land, Edinburgh 1848. — [23] Günther, Lehrbuch der Geophysik und physikalischen Geographie, II, Stuttgart 1885, S. 443. — [24] Supan, Grundzüge der physischen Erdkunde, Leipzig 1896, S. 280. — [25] v. Richthofen, Führer für Forschungsreisende, Berlin 1886, S. 364 ff. — [26] Hahn, a. a. O., S. 5 ff. — [27] v. Richthofen, a. a. O., S. 371. — [28] Blanckenhorn, Die geognostischen Verhältnisse von Afrika, P. G. M., E. H. Nr. 90, S. 42 ff. — [29] Martins-C. Vogt, Von Spitzbergen zur Sahara, I, Jena 1872, S. 152. — [30] Hahn, S. 18. — [31] Mohn, Bidrag til kundsgaben om gamle strandlinier i Norge, N. M. N., 1876, S. 19 ff. — [32] Petterson-R. Lehmann, Terrassen und alte Strandlinien, Z. g. N., LIII, S. 783 ff. — [33] R. Lehmann, Zur Strandlinienfrage, ebenda, LIII, S. 280 ff.; Ueber ehemalige Strandlinien im anstehenden Fels in Norwegen, Halle a. d. S. 1879. — [34] Chambers, Personal Observations on Terraces and other Proofs of the Changes of the relative Level of Land and Sea in Scandinavia, E. N. P. J., 1849, S. 68 ff. — [35] A. M. Hansen, Strandlinje-Studier, A. M. Ne., XIV, S. 257 ff.; XV, S. 1 ff. — [36] Penck, Morphologie der Erdoberfläche. II, Stuttgart 1894, S. 566. — [37] R. Lehmann, Z. Strandl., S. 280. — [38] Kjerulf, Die Geologie des südlichen und mittleren Norwegen, Bonn 1880. — [39] J. Steenstrup, Kjökkenmöddinger, Kopenhagen 1886; Fr. Pfaff, Die neuesten Forschungen und Theorien auf dem Gebiete der Schöpfungsgeschichte, Frankfurt a. M. 1868, S. 51 ff. — [40] v. Hoff, Geschichte der durch Ueberlieferung nachgewiesenen natürlichen Veränderungen der Erdoberfläche, I, Gotha 1822, S. 401 ff. — [41] E. Suess, II, S. 10 ff. — [42] Ricchieri, a. a. O., S. 6. — [43] Penck, a. a. O., II, S. 538. — [44] Swedenborg, Miscellanea observata circa res naturales et praesertim circa mineralia, ignem et montium strata, I, Leipzig 1722, S. 47. — [45] A. Celsius, Om vattnets forminsking så i Oestersjön som vesterhavfet, K. S. A. V. H., V, S. 25 ff. — [46] Linné, Dissertatio de telluris habitatae incremento, Upsala 1743. — [47] S. Chydenius, Disputatio de decremento aquarum in sinu bottnico, Upsala 1749. — [48] G. P. W., VI, 3, S. 1596 ff. — [49] Browallius-K. E. Klein, Historische und physikalische Untersuchung der vorgegebenen Verminderung des Wassers, Stockholm 1756. — [50] Nordenankar-Gröning, Strömungen der Ostsee, Leipzig 1795. — [51] E. Suess, II, S. 14. — [52] Wisotzki, Die Strömungen in den Meeresstrassen; ein Beitrag zur Geschichte der Erdkunde, A., LXV, S. 555. — [53] Jessen, Kongeriget Norske fremstillet efter det naturlige og borgerlige tiestand, Kopenhagen 1763. — [54] L. v. Buch, Reise durch Norwegen und Lappland, II, Berlin 1820, S. 291 ff. — [55] Lyell, On the Proofs of a gradual Rising of the Land in certain Parts of Sweden, P. T., 1835, S. 1 ff. — [56] Robert, Recueil d'observations et recherches géologiques, tendant à prouver, si non que la mer a baissé et baisse encore de nouveau sur tout le globe, notamment dans l'hémisphère Nord, du moins que le phénomène de soulèvement, depuis l'époche où il a donné naissance aux grandes chaînes de montagne, n'a plus guère continué à se manifester que d'une manière lente et graduelle, C. R., XIX, S. 265 ff. — [57] C. F. Frisch, Schweden, Berlin 1869, S. 5. — [58] Dalin, Geschichte des Reiches Schweden, I, Stockholm 1747, S. 42 ff. — [59] Chambers, a. a. O., S. 320. — [60] Frisi, Opera, I, Mailand 1782, S. 270 ff. — [61] v. Fritsch, Allgemeine Geologie, Stuttgart 1888, S. 361 ff. — [62] Hahn, S. 23 ff. — [63] Krümmel, Besprechung hiezu, G. G. A., 1879, S. 856 ff. — [64] v. Richthofen, S. 373. — [65] Playfair, Illustrations to the Huttonian Theory of the Earth, Edinburgh 1802. —

[66] Ch. Darwin-Carus, Reise eines Naturforschers um die Welt, Stuttgart 1893, S. 514. — [67] Hahn, S. 26 ff. — [68] Griesebach, Die Bildung des Torfes in den Emsmooren, Göttingen 1845, S. 88 ff. — [69] Forchhammer, Ueber die veränderte Wasserhöhe an den dänischen Küsten, Z. a. E., 1856, S. 477 ff. — [70] Ackermann, Beiträge zur physischen Geographie der Ostsee, Hamburg 1883, S. 35 ff. — [71] B. Zendrini-A. Zendrini, Memorie storiche dello stato antico e moderno delle lagune di Venezia, e di quei fiumi che restarono divertiti per le conservazione delle medesime, Padua 1811 (posthum). — [72] Manfredi, De aucta maris altitudine, Bologna 1745. — [73] Donati, Saggio della storia naturale dell' Adriatico, Venedig 1750. — [74] Fortis, Saggio d'osservazioni sopra l'isola di Cherso ed Osero, Venedig 1771; Auszug der Naturgeschichte des Adriatischen Meeres, Halle a. d. S. 1753. — [75] Klöden, Ueber das Sinken der dalmatischen Küsten, A. P. C., XLIII, S. 361 ff. — [76] T. Gruber, Briefe hydrographischen und physikalischen Inhaltes aus Krain, Wien 1781. — [77] Klöden, a. a. O., S. 368. — [78] E. Suess, II, S. 31. — [79] Supan, a. a. O., S. 295. — [80] D. Brauns, Das Problem des Serapeums von Pozzuoli, Lp., 1888, Heft 13—22. — [81] Loffredo, Antichità di Pozzuolo e di luoghi convicini, Neapel 1580. — [82] Goethes sämtliche Werke in vierzig Bänden, XL, Stuttgart 1869, S. 221 ff. — [83] Below, Campanien; Topographie, Geschichte und Leben der Umgebung Neapels im Altertum, Berlin 1876, S. 136. — [84] Hamilton, Campi Phlegraei, I, Neapel 1772. — [85] Breislack, Topografia fisica della Campania, Florenz 1798; Viaggi nella Campania, Paris 1801. — [86] v. Hoff, a. a. O., I, S. 455 ff.; III, S. 428 ff. — [87] Pingel, Notiz über einige Thatsachen, welche die allgemeine Senkung eines Teiles der Westküste Grönlands beweisen, N. J. M. G. P., 1837, S. 339 ff. — [88] Bessels, Die amerikanische Nordpolexpedition, Leipzig 1879, S. 156. — [89] E. Suess, II, S. 32. — [90] v. Bauernfeind, Das bayerische Präzisionsnivellement, VI, München 1883, S. 4. — [91] Messerschmitt, Die wichtigsten Beziehungen zwischen Geologie und Geodäsie, 5. J. p. G. Z.; Brückner, Ueber die angebliche Aenderung der Entfernung zwischen Jura und Alpen, J. G. G. B., XI, S. 189 ff. — [92] Supan, S. 297. — [93] Zeune, Hebungen und Senkungen des Bodens, N. J. M. G. P., 1838, S. 440 ff. — [94] Uzielli, Sulle oscillazioni terrestre, B. S. G. J., 1883, S. 141 ff. — [95] Marco, Note geologiche sul territorio del comune di Vasto (Abruzzo Citeriore), Vasto 1895. — [96] Girardot, Note sur l'étude des mouvements du sol dans le Jura, M. S. E. J., Bas-le-Saunier 1891. — [97] Jegerlehner, Spuren von Bodenbewegungen im nördlichen Teile der Waadt während der letzten fünfzig Jahre, J. G. G. B., XIII, S. 15 ff. — [98] Romieux, Sur la précision des observations pour l'étude des mouvements du sol à Doucier Jura, M. S. E. J., Bas-le-Saunier 1890. — [99] Allmähliche Veränderungen der Höhenlage von Orten auf der festen Erdoberfläche, G., XXVIII, S. 586 ff.; K. J., III, S. 138 ff. — [100] v. Hoff, III, S. 12 ff. — [101] Kahle, Höhenänderungen in der Umgegend von Jena infolge Hebung oder Senkung des Bodens, M. G. G. J., 1887, S. 95 ff.; 1888, S. 169 ff.; G., XXIX, S. 47 ff. — [102] K. J., III, S. 200 ff.; A. J. S., XXXIX, S. 220 ff. — [103] Sacco, Des phénomènes altimétriques observés dans l'intérieur des continents, B. S. G., (3) XIV, S. 128 ff. — [104] Das rutschende Dorf Tschappina, Glb., 1857, S. 21 ff. — [105] Blaas, Ueber Terrainbewegungen bei Bruck und Imming im vorderen Zillerthale, V. G. R., 1896, Nr. 7—8. — [106] Penck, Oberflächenbau, K. A. D. L. V., S. 44. — [107] F. Kraus, Die Bodensenkung in Eisleben, St. W., VII, S. 58 ff.; W. Ule, Die Bodensenkungen in Eisleben, Z. p. G., 1894, S. 57 ff.; O. Lenz, Ueber die Ursache der in den letztvergangenen Jahren zu Eisleben eingetretenen Bodenbewegungen, Gf., 1896, S. 37 ff. — [108] Lingg, Ueber die bei Kimmbeobachtungen am Starnberger-See wahrgenommenen Refraktionserscheinungen, N. A. L. K. A., LV, Nr. 1. — [109] Bergman-Röhl, Physikalische Beschreibung der Erdkugel, II, Greifswald 1791, S. 143. — [110] De Geer, On Pleistocene Changes of Level in Eastern North America, P. B. S. N. H., XXV, S. 454 ff.; Om Skandinaviens nivåförändringar under quartärperioden, G. F. S. F., 1888, S. 366 ff.; 1890, S. 61 ff.; 1892, S. 72 ff. — [111] Holmström, Om Strandliniens förskjutning å Sveriges Kuster, S. V. A. H., XXII, Nr. 9. — [112] Bonsdorff, Die säkuläre Hebung der Küste bei Kronstadt, Fn., IV, Nr. 3. — [113] Sieger, Verschiebungen der Strandlinie in Schweden und Finnland, A., LXV, S. 184 ff.; Fn., I, Nr. 4; IV, Nr. 1. — [114] v. Nordenskiöld, Besäkning of fasta landets höjning vid Stockholm, Ö. V. A. H., XV, S. 269 ff. — [115] Forssman, Observationer öfver Vattenhgäden vid Sveriges Kuster, S. A. H., XIII, Nr. 11. — [116] Moberg, Finska Kustens Höjning, 1853—72, Helsingfors 1873. — [117] Lilienberg, O Strömmarna i Stockholm, Stockholm 1893. — [118] W. Gilbert, History of Lake Bonneville, Washington, 1882; M. U. S. G. S., 1890, S. 362 ff. — [119] XI. A. R. U. S. G. S., Washington 1890; K. J., II, S. 207. — [120] Prestvich, On the Origin of the Parallel Roads of Lochaber and their bearing on other Phenomena of the Glacial Period, P. R. S., 1879, S. 6 ff. — [121] Jolly, The Parallel Roads of Lochaber, N., XXII, S. 68. — [122] Jamieson, Supplementary Remarks on Glen Roy, Q. J. G. S., XLVIII, S. 5 ff. — [123] Sandler, Die Lochaber-Strandlinien, M. V. E. L., 1888, S. 195 ff. — [124] Penck, Morphologie, II, etc., S. 214. — [125] Starkie Gardner, Parallel Roads, N., XXXIII, S. 343 ff. — [126] Supan, a. a. O., Taf. 16. — [127] Hahn, S. 190 ff. — [128] Forchhammer, Letter on some Changes of Level which taken Place in Denmark, T. G. S., VI, S. 157 ff. — [129] Quenault, Les mouvements de la mer, ses invasions et ses relais sur les côtes de l'Océan Atlantiques, Coutances 1869; Z. G. E. B., VI, S. 388 ff.; Hahn, S. 185 ff. — [130] J. Girard, Les soulèvements et dépressions du sol sur les côtes de la France, B. S. G., X, S. 225 ff. — [131] Koepert, a. a. O., S. 5 ff. — [132] Peschel-Leipoldt, a. a. O., II, S. 404 ff. — [133] Lyell, Principles of Geology, I, London 1872, S. 551. — [134] Hahn, S. 177. — [135] J. Smith, Ueber die Anzeichen einer Aenderung in der relativen Höhe von Land und See im Westen von Schottland, N. J. M. C. P., 1837, S. 477 ff. — [136] Hahn, S. 181. — [137] Peschel, N. Probl. etc., S. 111. — [138] Die Senkung der Fär-Öer-Inseln, A., LIX, S. 65 ff. — [139] Thoroddsen, Die Oberflächengestalt der Insel Island, V. G. E. B., XX, S. 203 ff. — [140] Forchhammer, Over niveauförandringar, der in den nuvärende jordperiode have funde stet ved de danske kyster, Gothenburg 1829. — [141] Ricchieri, a. a. O., S. 14 ff. — [142] K. J., IV, S. 186. — [143] Peschel-Leipoldt, II, S. 409. — [144] Hahn, S. 164 ff. — [145] Ackermann, a. a. O., S. 102. — [146] P. Lehmann, Das Küstengebiet Hinterpommerns, Z. G. E. B., XIX, S. 334 ff. — [147] Bachmann, Die landeskundliche Litteratur über die Grossherzogtümer Mecklenburg, Güstrow, 1890. — [148] Th. Fischer, Beiträge zur physischen Geographie der Mittelmeerländer, Leipzig 1877. — [149] Marcialis, Alcune prove del sollevamento della Sardegna, Cagliari 1890. — [150] Reyer, Aus Toskana; geologisch-technische und kulturhistorische Studien, Wien 1884. — [151] Th. Fischer, Besprechung hiezu, Z. w. G., V, S. 67 ff. — [152] Hahn, S. 209. — [153] C. Neumann-Partsch, Physikalische Geographie von Griechenland mit besonderer Rücksicht auf das Altertum, Breslau 1885, S. 349 ff.; Wimmer, Die historische Landschaft, Innsbruck 1885, S. 23 ff. — [154] Hahn, S. 211. — [155] Ebenda, S. 215. — [156] Trabacco, L'isola Lampedusa, B. S. Gl. J., IX, S. 573 ff. — [157] v. Tchihatchew, Spanien, Algier und Tunis, Leipzig 1882, S. 510 ff. — [158] Th. Fischer, Besprechung hiezu, Z. w. G., IV, S. 51. — [159] Hahn, S. 196 ff. — [160] v. Kremer, Aegypten, I, Leipzig 1835, S. 53. — [161] Hahn, S. 33. — [162] Ebenda, S. 35. — 163] Koepert, S. 29. — [164] Lyell, a. a. O., II, S. 426 ff., 430 ff. — [165] Suess, a. a. O., II, S. 636. —

[166] Stow, South African Geology, Q. J. G. S., XXVII, S. 520 ff. — [167] Suess, II, S. 582. — [168] Cold, Küstenveränderungen im Archipel, München 1886. — [169] Calvert, Ueber die asiatische Küste des Hellespont, Z. Eth., 1880, S. 31 ff. — [170] Virchow, Die Küste von Troas, ebenda 1880, S. 40 ff. — [171] Hahn, S. 219. — [172] Niebuhr, Beschreibung von Arabien, Kopenhagen 1772, II, S. 403 ff. — [173] Ebenda, II, S. 201. — [174] Hahn, S. 41 ff. — [175] Suess, II, S. 642 ff. — [176] Ebenda, II, S. 647. — [177] v. Drasche, Fragmente zur Geologie der Insel Luzon, Wien 1878, S. 9 ff., 47 ff. — [178] v. Richthofen, Der Gebirgsbau der Nordküste von Formosa, Z. d. G. G., XII, S. 532 ff. — [179] Hahn, S. 59. — [180] Rein, Japan nach Reisen und Studien, I, Leipzig 1881, S. 64 ff. — [181] Suess, II, S. 615. — [182] v. Middendorff, Reise in den äussersten Norden und Osten Sibiriens während der Jahre 1843 und 1844, I, St. Petersburg 1848, S. 206 ff.; IV, ebenda 1875, S. 261 ff. — [183] Schmalhausen-v. Toll, Tertiäre Pflanzen der Insel Neusibirien, M. A. S. P., 1890, Nr. 5. — [184] Tschernyschew, Aperçu sur les dépots postertiaires au nord et à l'est de la Russie d'Europe, Moskau 1892. — [185] Höfer, Graf Wilczeks Nordpolfahrt im Jahre 1872, P. G. M., XX, S. 302 ff. — [186] Suess, II, S. 651 ff. — [187] H. C. Russell, Address to the Royal Society of New South Wales, N., XXXII, S. 234 ff. — [188] K. Martin, Die Entstehung des ost- und westindischen Archipels, G. Z., II, S. 361 ff. — [189] Suess, II, S. 650. — [190] Ebenda, II, S. 399. — [191] v. Hochstetter, Neu-Seeland, Stuttgart 1863, S. 40 ff. — [192] Hahn, S. 69 ff. — [193] Ebenda, S. 109. — [194] Ebenda, S. 115. — [195] Kurze Bemerkungen zur Karte der Nordpolarländer, Z. G. E. B., IX, S. 388 ff. — [196] Klutschak, Als Eskimo unter den Eskimos, Wien-Pest-Leipzig 1881, S. 113. — [197] Suess, II, S. 602. — [198] Dall, Notes on Alaska and the Vicinity of Bering-Strait, A. J. S., XXI, S. 104 ff. — [199] Suass, II, S. 628. — [200] Suess, II, S. 619. — [201] Hector, On the Geology of the Country between Lake Superior and the Pacific Ocean, Q. J. G. S., XVII, S. 388 ff. — 202] Blake, On the gradual Elevation of the Land in the Environs of San Francisco, Pr. C. A., 1863, S. 45 ff. — [203] Loew, Lieutenant Wheelers Expedition durch das südliche Kalifornien im Jahre 1875, P. G. M., XXII, S. 423 ff. — [204] Hahn, S. 95, 105 ff. — [205] Lyell, I, S. 127 ff. — [206] Hahn, S. 109. — [207] Ch. Darwin-Carus, Der Bau und die Verteilung der Korallenriffe, Stuttgart 1876, S. 206 ff. — [208] Ebenda, S. 210 ff. — [209] K. J., IV, S. 175. — [210] Hahn, S. 104. - [211] Suess, II, S. 622. — [212] Reits, Sinken die Anden? V. G. E. B., VII, S. 45 ff. — [213) Ebenda, S, 53. — [214] Hahn, S. 94 ff. — [215] W. Wiener, Die Speiseresthaufen an der brasilianischen Küste, A., IL, Nr. 45. — [216] Ch. Darwin-Carus, Reise eines Naturforschers um die Welt, Stuttgart 1893, S. 87. — [217] Ebenda, S. 337. — [218] E. Suess, Das Antlitz der Erde, I, S. 124. — [219] Domeyko, Solevantemiento de la costa de Chile, A. U. Ch., 1860, S. 573 ff. — [220] Suess, II, S. 699. — [221] Ebenda, II, S. 655. — [222] Fricker, Antarktis, Berlin 1896, S. 136. — [223] Suess, II, S. 451. — [224] Ebenda, II, S. 595 ff.; M. G., 1881, S. 40 ff.; 1883, S. 237 ff. — [225] Suess, II, S. 601. — [226] Payer, Die österreichisch-ungarische Nordpolexpedition in den Jahren 1872—1874, Wien 1876, S. 471, 561. — [227] Köpert, S. 32; Hahn, S. 124 ff. — [228] Ebenda, S. 219 ff. — [229] Peschel, N. Probl., S. 97 ff. — [230] Zöppritz, Der gegenwärtige Standpunkt der Geophysik, W. G. J., VIII, S. 42. — [231] Der Vulkanismus und die Geologie, G., II, S. 159. — [232] Penck, Morphol., II, S. 543 ff. — [233] Suess, II, S. 10; Quatrefages, Ch. H. Darwin et ses précuseurs français, Paris 1870, S. 19 ff.; Sieger, Ueber Telliamed, V. 66. G. N. A,, II, 1, S. 238. — [234] Telliamed, ou entretiens d'un Philosophe Indien sur la diminution de la mer, avec un Missionaire français, Paris 1748—55. — [235] Swedenborg, Epistola ad virum celeberrimum Jac. a Melle, A. L. S., 1721, S. 196 ff. — [236] Suess, II, S. 13. — [237] Runeberg, Bemerkungen wegen einiger Veränderungen der Erdfläche überhaupt und besonders im kalten Landstriche, A. s. A. W., K. XXVII, S. 109 ff. — [238] Degener, Dissertatio physica de turfis, Utrecht 1729. — [239] Woodward, Naturalis historia telluris illustrata et aucta, London 1714, S. 220. — [240] Scheuchzer, Meteorologica et Oryctographia Helvetica, Zürich 1781, S. 231 ff. — [241] Thebesius, Beiträge zu der Naturhistorie des Pommerlandes, B. St. III, S. 50 ff. — [242] Runeberg, Erläuterung eines Umstandes, die Frage von Veränderung des Wassers betreffend, A. s. A. W. K., XXXI, S. 177 ff. — [243] Lazzaro Moro, De' crostacei e degli altri marini corpi, che si trovano sui monti, Venedig 1740; Neue Untersuchung der Veränderungen des Erdbodens, nach Anleitung der Spuren von Meertieren und Meergewächsen, die auf Bergen, und in trockener Erde, gefunden werden, Leipzig 1751. — [244] Ebenda, S. 355. — [245] Ebenda, S. 389. — [246] Collected Works of J. Playfair, I, Edinburgh 1822, S. 432 ff. — [247] v. Buch, Reise durch Norwegen und Lappland, Berlin 1810. — [248] Penck, Sir Charles Lyells Leben, A., LV, S. 629 ff. — [249] Suess, II, S. 16; v. Buchs Gesammelte Werke, ed. Eck, Ewald, J. Roth, II, Berlin 1870, S. 504. — [250] v. Hoff, I, S. 447 ff.; II, S. 316 ff. — [251] Lyell, Principles etc., II, S. 118 ff. [252] Phillips, Vesuvius, London 1869. — [253] Rickets, On Subsidence as the Effect of Accumulation, G. M., 1872, S. 392 ff. — [254] Möhl, Erdbeben und Vulkane, Berlin 1878. — [255] Pilar, Grundzüge der Abyssodynamik, Agram 1881, S. 112. — [256] Peschel, N. Pr., S. 94. — [257] Sulzer, Untersuchungen von dem Ursprung der Gebürge, Zürich 1746, S. 28 ff. — [258] v. Justi, Geschichte des Erd-Cörpers, aus seinen äusserlichen und unterirdischen Beschaffenheiten erklärt, Berlin 1771, S. 218 ff. — [259] Günther, Aeltere und neuere Hypothesen über die chronische Versetzung des Erdschwerpunktes durch Wassermassen, Halle a. d. S. 1878. — [260] C. Prevost, Les continents actuels ont-ils été, a plusiers reprises, submergés par la mer?, C. R., IV, S. 249 ff. — [261] Wrede, Ueber Gebirgstrümmer an der Stelle einer vorgeblich auf der Nordküste Usedoms von der See verschlungenen Stadt, M. K. E. H., VI, S. 109. — [262] Wrede, Geognostische Untersuchungen über die südbaltischen Länder, besonders über das untere Odergebiet, nebst einer Betrachtung über die allmähliche Veränderung des Wasserstandes auf der nördlichen Halbkugel der Erde und deren physische Ursachen, Berlin 1804; G. P. W., IV, 2, S. 1264. — [263] Shaler, Notes on some of the Phenomena of Elevation and Subsidence of Continents, P. B. S. N. H., 1875, S. 288 ff. — [264] Suess, II, S. 21 ff. — [265] Veltmann, Die Schmicksche Theorie der säkulären Ebbe an den Polen, G., XI, S. 265 ff. — [266] Brenner-v. Zech, Die Umsetzung der Meere, W. N. J., 1874, 2. u. 3. Heft. — [267] v. Niessl, Ueber die Umsetzung der Meere, S., X, S. 11 ff. — [268] Peschel, Ueber die angeblichen Schwankungen des Seespiegels, A., XLVIII, S. 71 ff. — [269] Trautschold, Ueber säkuläre Hebungen und Senkungen der Erdoberfläche, Dorpat 1869; B. S. J. N. M., 1869, S. 68 ff.; Zur Frage über die periodische Bewegung des Erdozeans, ebenda 1873, II, S. 341 ff. — [270] v. Drasche, Bemerkungen zu den neueren und neuesten Theorien der Niveauschwankungen, Lp., 1880, S. 29 ff., 38 ff. — [271] Tyler, On the Formation of Deltas, and on the Evidence and Causes of great Changes in the Sea-Level during the Glacial Epoch, G. M., 1872, S. 392 ff. — [272] Lemberg, Ueber Silikatumwandlungen, Z. d. G. G., XXVIII, S. 515 ff. — [273] Reyer, Beitrag zur Physik der Eruptionen und der Eruptivgesteine, Wien 1877, S. 7 ff. — [274] Jentsch, Ueber die Statik der Kontinente und die angebliche Abnahme des Meerwassers, T. 52. N. V,, S. 167 ff. — [275] Goetz, Die dauernde Abnahme des fliessenden Wassers auf dem Festlande der Erde, V. 8. D. G., 1889, S. 126 ff. — [276] Heinr. Berghaus, Hydro-historische Uebersicht vom Zustande des Elbestromes nach dem 108jährigen Zeitraume von 1728 bis 1835, A. E. V. K. S., 1836, S. 385 ff. —

[277] Wex, Ueber die Wasserabnahme in den Quellen, Flüssen und Strömen, M. G. G. W., 1874, S. 299 ff., 342 ff., 396 ff. — [278] Veränderlickkeit der Wassermengen von Flüssen und Seen, G. XVIII, S. 393 ff. — [279] Zöppritz, D. Fortschr. d. Geoph., W. G. J., IX, S. 38. — [280] Sefanović v. Vilovo, Ungarns Stromregulierung, Wien-Pest 1883; Sinken des Meeres, Z. S., VI, S. 43. — [281] H. Fritz, Die Veränderlichkeit der Wassermengen der Gewässer des Festlandes, P. G. M., XXVI, S. 245 ff. — [282] Goetz, a. a. O., S. 133. — [283] Brückner, ebenda, S. XV ff. — [284] Brückner, Klimaschwankungen seit 1700, nebst Bemerkungen über die Klimaschwankungen der Diluvialzeit, Wien-Olmütz 1890, P. G. A., IV, 2. — [285] Sieger, S. 49 ff.; Ricchieri, S. 14 ff. — [286] F. W. Johnston, On a gradual Elevation of the Land in Scandinavia, E. N. P. J., 1833, S. 34 ff. — [287] Berzelius-Wöhler, Jahresbericht über die Fortschritte der physischen Wissenschaften, XIV, Tübingen 1835, S. 36 ff. — [288] Sieger, Zur Geschichte der Kontraktionstheorie, A., LXVI, S. 273 ff. — [289] Holmström, a. a. O., S. 11. — [290] Günther, Ein vergessenes Dokument zur Geschichte der Erdphysik, A., LXVI, S. 129 ff — [291] Johnston, a. a. O., S. 48. — [292] G. P. W., VI, 3, S. 1601. — [293] v. Schultén, Versuch, das Steigen und Fallen in der Ostsee und die dadurch entstandenen Strömungen zu erklären, A. P. C., XXXVI, S. 314 ff. — [294] Tietze, Beiträge zur Geologie von Lykien, J. G. R., 1885, S. 382. — [295] Loewl, Die Ursachen der säkulären Verschiebungen der Strandlinie, Prag 1886. — [296] Ebenda, S. 14. — [297] Sieger, Verschiebungen etc., S. 184. — [298] Suess, Ueber die vermeintlichen säkulären Schwankungen einzelner Teile der Erdoberfläche, V. G. R., 1880, S. 171 ff. — [299] Suess, D. Antl. etc., II, S. 677 ff. — [300] Ebenda, II, S. 681. — [301] Ebenda, II, S. 688. — [302] F. Pfaff, Allgemeine Geologie, Leipzig 1873, S. 212 ff. — [303] Linhardt, Ueber unterseeische Flussrinnen, J. G. G. M., XIV, S. 21 ff. — [304] Suess, II, S. 693. — [305] Ebenda, II, S. 697. — [306] Blytt, Ueber die wahrscheinliche Ursache der periodischen Veränderungen in der Stärke der Meeresströmungen, B. C., IV, S. 33 ff. — [307] Lamp, Niveauschwankungen der Ozeane als mögliehe Ursache der Veränderlichkeit der Polhöhe, A. N., Nr. 3014. — [308] Loewinson-Lessing, Ueber die Ursachen der säkulären Verschiebung der Meere und Festländer, Dorpat 1893. — [309] Rozet, Extrait d'un mémoire sur quelques unes des irrégularités que présente la structure du globe terrestre, B. S. G. F., XII, S. 176. — [310] Penck, Schwankungen des Meeresspiegels, München 1882 (J. G. G. M., VII, S. 1 ff.). — [311] Ebenda, S. 6. — [312] Zöppritz, Ueber Schwankungen des Seespiegels infolge von geologischen Veränderungen, A. P. C., (2) XI, S. 1016 ff. — [313] O. Fisher, Physics of the Earths Crust, London 1889, S. 315 ff. — [314] Petterson, The slow Secular Rise and Fall of Continental Masses, G. M., 1879, S. 296. — [315] H. Miller, Some Results of a detailled Survey of the old Coast-Lines near Trondjem (Norway), N., XXXII, S. 555. — [316] Sandler, Zur Strandlinien- und Terassen-Litteratur, W. V. V. E. L., I, S. 295 ff. — [317] Keilhau, Om Landjordens Stigning, N. M. N., 1838, S. 250 ff. — [318] Kjerulf, Om Skuringsmärker, Glacialformationer og Terrasser, I, Christiania 1871; II, ebenda 1873. — [319] Mohn, Bidrag til Kundskaben om gamle Strandlinier i Norge, N. M. N., 1877, S. 1 ff. — [320] Sexe, On the Rise of Land in Scandinavia, Christiania 1872. — [321] Sexe, Norges Stigning Strandlinier, Terrasser, A. M. N., V, S. 427 ff. — [322] Macfadzeane, The Parallel Roads of Glencoy; their Origin and Relation to the Glacial Period and the Deluge, Edinburgh 1883; P. M., (5) XVII, S. 319 ff. — [323] Elevation of Land during the Glacial Period, ebenda, (5) XVII, S. 245. — [324] Bravais, Rapport sur un mémoire relatif aux lignes d'ancien niveau de la mer dans la Finmark, C. R., XV, S. 817 ff. — [325] Penck, a. a. O., S. 37 ff. — [326] v. Drygalski, Die Geoiddeformationen der Eiszeit, Berlin 1887; Z. G. E. B., XXII, S. 169 ff. — [327] H. Hergesell, Ueber die Aenderung der Gleichgewichtsflächen der Erde durch die Bildung polarer Eismassen und die dadurch verursachten Schwankungen des Meeresniveaus, B. G., I, S. 59 ff — [328] R. S. Woodward, On the Form and Position of Sea Level, Washington 1888. — [329] Günther, Die Gestaltveränderungen der Meeresoberfläche während der Eiszeit, N. R., III, Nr. 5. — [330] Suess, II, S. 698. — [331] Penck, Morphol. etc., II, S. 531. — [332] Pini, Spiegazione dello strano fenomeno che presentano i vermi maritimi annichiati nelle colonne del tempio di Serapis in Pozzuoli, Opuscoli scelti, XXII, Mailand 1803, S. 94 ff.; Goethe, a. a. O., XL, S. 224. — [333] A. M. Hansen, Om Seter eller Strandlinier i store höider over havet, A. M. N., X, S. 329 ff.; On Seter Strandlinier or Parallel Roads in Norway, XXXIII, S. 268 ff. — [334] Rosén, Die Veränderung des Wasserstandes an der schwedischen Küste, G. Z., II, S. 588 ff. — [335] Marr, The Work of Ice-Sheets, G. M, 1887, S. 154 ff. — [336] Sandler, S. 311. — [337] Penck, Morphol. etc., II, S. 577. — [338] H. Haas, Katechismus der Geologie, Leipzig 1893, S. 53. — [339] Forbes, Physical Notes of the Bay of Naples, V, E. N. P. J., 1829, S. 283 ff. — [340] Suess, II, S. 463 ff. — [341] Supan, S. 295. — [342] Johnston-Lavis, A Plea for the experimental Investigation, of some geological Problems, N., XXXI, S. 338. — [343] Günther, Lehrbuch der Geophysik und physikalischen Geographie, II, Stuttgart 1885, S. 456. — [344] Toula, Ueber die säkulären Hebungen und Senkungen der Erdoberfläche, Wien 1880 (S. V. V. K. W., XX, S. 621 ff.). — [345] H. J. Klein, Die langsamen Veränderungen der Erdfeste, G., XVI, S. 385. — [346] Crosby, Origin and Relations of Continents and Ocean Bassins, P. B. S. N. H., XXII, S. 443 ff.

Kapitel II.

Die Küstenbildung.

§. 1. **Küstentypen.** Was unter Küste, Ufer, Strand geographisch zu verstehen ist, wurde schon oben (S. 379) angegeben. Der Begriff der Steil- und Flachküste ist gegeben durch die Grösse des Winkels, unter welchem sich die Küste aus dem Wasser erhebt, doch ist eine ganz scharfe Grenze zwischen beiden nicht zu ziehen.

Bedingt ist die Böschuug durch den Stoff, aus welchem die Küste zusammengesetzt ist, wie dies Penck [1], dessen Definitionen — konsequente oder inkonsequente Steil- und Flachküste, eingeschaltete Steilküste, vorgelagerte Flachküste — leicht verständlich sind, mit folgenden Worten angibt: „Die Flachküsten bestehen meist aus jüngerem Schwemmlande, aus Sand oder Schlamm, in tropischen Meeren auch aus Korallenkalk, während die Steilküsten aus älteren Gesteinen aufgebaut werden.“ Strandlose Küsten sind selten; in diesem Falle steigt das nackte Ufergestein, ohne Vermittelung durch ein Vorland, direkt aus den Fluten auf. Je nach der Art des Küstenverlaufes, ob derselbe ein mehr oder minder einfacher ist, wird man die Küstenformen gewissen Definitionen einordnen können. Allgemeine Betrachtungen über die Aufstellung von Typen, die einen genetischen (γένεσις, Entstehung) oder morphologischen (μορφολογία, Lehre von der Gestalt) Hintergrund haben müssen, hat Hettner [2] angestellt; die mehr spezialisierende Einteilung ist jedoch früher schon durch v. Richthofen [3] angebahnt und von Philippson [4] weiter ausgestaltet worden.

Die Klassifikation v. Richthofens hält als die am meisten in die Augen fallenden Gegensätze die Steilküste, die Strandküste mit Steilrand, die Strandküste mit zurückliegendem Steilrand und die Flachlandküste auseinander, welch letztere wieder in Lagunenküsten, Dünenküsten und umwallte Flachküsten zerfällt. Diese Haupttypen entsprechen dem wirklichen Augenscheine und stehen in keiner direkten Beziehung zum Aufbau des Landes, dessen Meeresgrenze eben nach gewissen Gesichtspunkten gegliedert werden soll. Will man letzteres thun, so kann man mit v. Richthofen [5] Longitudinalküsten, deren allgemeine Richtung jener des nächstliegenden Gebirges parallel ist, Transversalküsten, deren Richtung jenes Gebirge unter einem grösseren Winkel trifft, Beckenrandküsten (Westküsten von Italien, Kamtschatka, Formosa), deren Lage nur teilweise durch den Zug des nächsten grossen Faltengebirges bestimmt ist, Schollenküsten als Ränder einer der ausgesprochenen Längsgebirge entbehrenden Kontinentalmasse und — als deren Analogon — regionale Schwemmlandküsten unterscheiden. Es leuchtet ein, dass wirtschaftlich und geschichtlich die Transversalküsten eine besonders bedeutsame Rolle zu spielen berufen sind, denn sie bilden das Mass des Aufgeschlossenseins eines Kontinentes, und je zahlreicher dieselben den monotonen Verlauf anderer Küstenformen unterbrechen, um so grösser wird auch, wenn man irgendwie das numerische Verhältnis einführt, die Küstengliederung (S. 414) sein. — Die Rücksicht auf jene Agentien, welche bei der Bildung der Küste vorwiegend beteiligt waren, gibt die Richtschnur für Philippsons Einteilungsverfahren ab; diese Kräfte können, wie mit einer glücklichen Wortneubildung gesagt wird, küstenfremd, sie können aber auch küstenzugehörig oder litoral — weshalb littoral (litus, Küste)? — sein [6]. In ersterem Falle, wenn lediglich oder doch hauptsächlich die gebirgsbildenden Kräfte thätig gewesen sind, welche das Festlandmassiv als solches hervorgebracht hatten, stellen sich die Küsten als Niveaulinien des Landes dar, sind sozusagen Isohypsenküsten (I, S. 312), mit welcher zusammenfassenden Bezeichnung eine grosse Mannigfaltigkeit in den Details recht wohl vereinbar ist. Schwemmlandküsten können, je nach den Umständen, mehr den formierenden Charakter des Meeres selbst oder aber die aufbauende Arbeit der Flüsse, die ins Meer münden, hervortreten lassen; es kann sich mehr der thalassogene (θάλασσα, Meer) oder der potamogene (πόταμος, Fluss) Typus ausgebildet haben, und selbstverständlich fehlt es auch nicht an den verschiedensten Misch- und Uebergangsformen zwischen jenen beiden Grundtypen [7]. Wir werden auf solche Erscheinungen im folgenden einzugehen haben, sobald wir uns mit der geographischen Verteilung der einzelnen Küstentypen beschäftigen.

Obwohl Küsten, die auf der Erdoberfläche weit auseinander liegen, nicht selten so ziemlich das gleiche Bild gewähren, so lässt sich doch

nicht leugnen, dass gewisse charakteristische Eigentümlichkeiten häufig an die Ränder gewisser Länder geknüpft erscheinen. Von diesen Erdgebieten entleiht man den bezeichnenden Namen, und wer einigermassen geographisch gebildet ist, weiss dann mit dem Namen auch sofort einen ganz bestimmten Begriff zu verbinden. Eine solche litorale Nomenklatur hat in ganz treffender Weise Hahn [8] angebahnt, und v. Richthofen [9] ist, wenigstens teilweise, den gleichen Weg gegangen. So gelangen wir zu den nachstehend mitgeteilten Normen einer das geographische Element bevorzugenden Küsteneinteilung.

Die Steilküsten sollen den Anfang machen. Wenn die Erklärung jetzt zunächst nur eine kurze, keineswegs erschöpfende ist, so wird eben darauf gerechnet, in den folgenden Paragraphen dasjenige nachtragen zu können, was an dieser Stelle dem Hauptziele, der Begründung einer zweckdienlichen Terminologie, nur hinderlich werden würde.

a) Norwegischer Typus; Fjordküste. „Fjorde sind weit in das Innere von Gebirgen eingreifende, nach oben sich verzweigende, schmale und tiefe Meeresbuchten“ [10]. Dass nicht nur an der skandinavischen Westküste, sondern auch anderswo Fjordbildungen auftreten, wird in §. 5 gezeigt werden, aber Norwegen ist das sozusagen klassische Land dieser Art von Buchten. Die Landkommunikation tritt gegen den Seeverkehr weit zurück, und zum Bau von Küstenbahnen zeigt sich, wie wiederum Norwegens Beispiel zu erkennen gibt, wenig Veranlassung.

b) Asturischer Typus; Riasküste. Als Rias kennt der Nordspanier gewisse, an der Nordküste der Iberischen Halbinsel sehr häufig, und zwar stets gesellig vorkommende, an sich unbedeutende Einbuchtungen. An und für sich heisst im Kastilischen jedes Aestuarium Ria, und erst die Wissenschaft hat die uns jetzt geläufig gewordene Beschränkung durchgesetzt. Das kantabrische und noch mehr das galizische Gebirge begünstigen diese Bildungen, von denen Penck [11] als besonders typisch die Rias de Vigo, de Pontevedraz, de Arosa, de Muros, de la Coruña, de Betanzos und del Ferrol namhaft macht. Dieselben pflegen Transversalküsten eigen zu sein und unterscheiden sich [12] dadurch, wie auch durch anderweite Momente, von den an Längsküsten (s. o.) gebundenen Fjorden. Da der Schiffahrt der Schutz durch vorgelagerte Felsinseln nicht ebenso wie bei den norwegischen Meereseinschnitten gewährleistet wird, so wird die Pflege der die einzelnen — durchweg guten — Häfen verbindenden Parallelstrassen nachdrücklicher gefordert.

c) Dalmatischer Typus; Küste der versenkten Thäler. Aeusserlich ist die Aehnlichkeit mit der Fjordküste kein geringer, aber genetisch waltet ein erheblicher Unterschied ob, denn die Meeresfluten sind einfach in die Hohlformen des (S. 566) in stetiger positiver Strandverschiebung begriffenen Küstengebirges eingedrungen und haben die Thäler unter Wasser gesetzt. Die von Klöden [13] (vgl. S. 566) zahlreich beigebrachten, aber gewaltsam umgedeuteten Thatsachen lassen uns wahrnehmen, dass dieser Prozess noch nicht zu Ende ist. Wie der norwegische, so ist auch der dalmatische Typus den Küstenbahnen feind, und es sind von diesen in Dalmatien nur Rudimente vorhanden.

d) Schwedischer Typus; Scherenküste. Die Analogie zwischen den beiden Rändern der Skandinavischen Halbinsel ist unverkennbar, aber die Menge und Zerrissenheit der felsigen Kusteninseln (Scheren; S. 564) ist eine weitaus grössere, während tief einschneidende Fjorde seltener sind. Auch die finnische und ein Teil der bretonischen Küste sind hierher zu rechnen; nicht minder weist die irische Westküste, wie u. a. die Angaben beweisen mögen, welche v. Lasaulx [14] über dortige Erosionswirkungen gemacht hat. Die Verbindung zwischen zwei Küstenpunkten auf dem Landwege ist in Schweden weit leichter als in Norwegen herzustellen. Bei v. Richthofen [15] ist die Scherenküste den sich am weitesten von seinem Liman-Typus entfernenden Küstentypen untergeordnet; dieser bildet sich im allgemeinen am Abfalle eines Tafellandes dann, wenn auch, wie beim dalmatischen Typus, das Meer zwar die vorhandenen Landeinschnitte ausfüllen möchte, daran aber durch die sedimentierende Aktion der Flüsse verhindert wird,

deren Sinkstoffe von oben nach unten in jene Buchten eingeschwemmt werden und diese auszuebnen bestrebt sind. Beim schwedischen Typus herrscht die „zierlichste Gliederung und Inselauflösung“ vor. Als ebenfalls beachtenswert bezeichnet, ohne für ihn eine eigene Kategorie aufzustellen, der zuletzt genannte Forscher einen Typus, der dagegen von Hahn (s. o.) selbständig gemacht wird. Dies ist der

e) Zimbrisch-schottische Typus; Föhrdenküste, wesentlich den Ostküsten der nordalbingischen Halbinsel und Hochschottlands zugehörig. Tiefe, sehr lange sich hinstreckende Golfe reichen in das Land hinein, in Schleswig Föhrden (Schleswig, Eckernförde, Hadersleben), in Jütland wiederum Fjords (Lijm-Fjord), in Schottland Firths (Firth of Tay, Firth of Forth) genannt, welche drei germanische Wörter denselben Stamm besitzen. So wenig Schleswig-Holstein und Jütland sich über den Meeresspiegel erheben, so ist doch keine Flachküste im eigentlichen Sinne, sondern vielmehr eine langsam ansteigende Küste vorhanden. Die relative Schmalheit der Firths hat deren Ueberbrückung ermöglicht; die in furchtbarer Sturmnacht zerstörte eiserne Brücke über den Firth of Tay ist als Pfeilerbrücke wiederhergestellt worden.

f) Mediterraner Typus; Terrassenküste. Das Gebirge tritt, vorab an der ligurischen Riviera, nahe an das Meer heran, so dass nur ein schmaler, meist wieder scharf geböschter Ufersaum mit sehr mässiger Strandentwickelung übrig bleibt. Die Besiedelung ist stets eine namhafte; dem Verkehr ist ein klar vorgezeichneter Uferweg angewiesen. Gute Verbindungen hat man wenig; da, wo sie existieren, haben sie hohe strategische Bedeutung (Pass von Serravalle bei Genua; „Thor von Derbent“ an der Westküste des Kaspischen Sees, letzteres von C. Ritter [16] besonders in seiner Bedeutung für die Geschichte der Völkerbewegungen gewürdigt). Die Häfen dieser Küstengattung mussten mehr denn anderswo durch Kunstbauten zu wirklich sicheren Bergungsorten der Schiffe gemacht werden.

g) Normannischer Typus; Kliffküste. Wie eine steil abfallende Mauer stellt sich die Uferwand dar; Breschen in dieselbe hat die Natur nur selten gelegt; da nämlich, wo die sonst ungestört lagernden Schichten eine stärkere tektonische Störung erfahren haben. Solche Stellen haben sich die Ströme als für ihre Mündung in die See geeignet ausgesucht, und hier sind Naturhäfen entstanden. Hâvre de Grace ist ein Kunsthafen, allerdings rationellerweise da angelegt, wo ein schmaler Saum angeschwemmten Landes gute Gelegenheit bot. Die auf dem Plateau gelegenen Ortschaften sind nur ausnahmsweise auf das Meer, weit mehr auf ihr Hinterland angewiesen, und Küstenbahnen mangeln z. B. der Normandie gänzlich. Ausser dieser gehören hierher die Kreideküsten Südenglands, Rügens, Oelands und einiger dänischer Inseln (Moën). Wir nennen hier ganz allgemein die glatte Steilküste Kliff, ohne besonderes Gewicht darauf zu legen, dass [17] ein Kliff nach anderer Bezeichnung einen eingeschalteten Abfall in der Wand zu bezeichnen hätte.

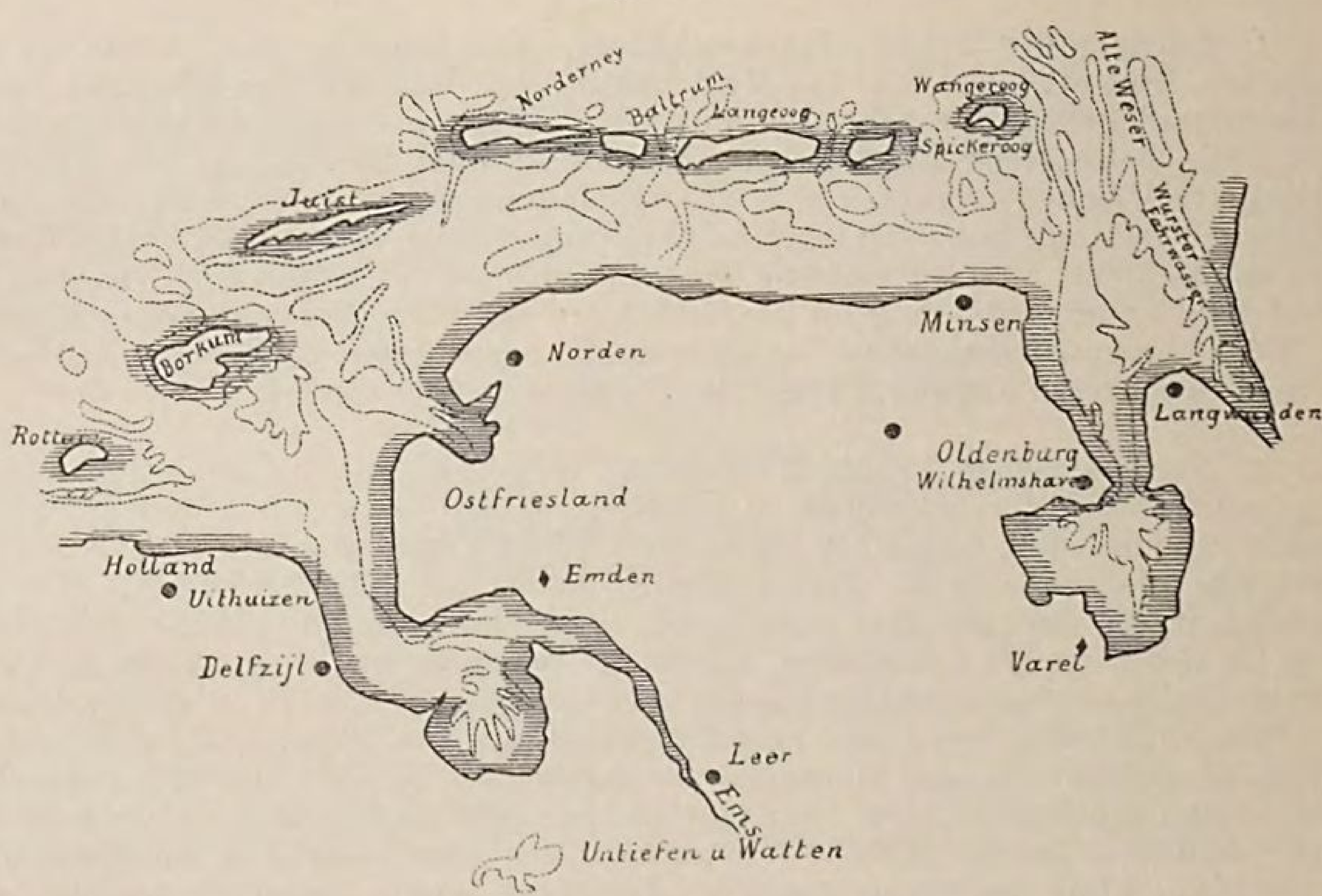
Nunmehr wenden wir uns den Flachküsten zu. Drei Umstände sind es, welche den Spezialcharakter derselben bestimmen: Die dem Meere Terrain abgewinnende Alluvion der Flüsse; der Rückgang des Meeres selbst; endlich Ablagerung zerstörter Küstenteile, deren Ueberreste das Meer an einen Ort verfrachtet hat. Die Analyse markanter Erdstellen gestattet demgemäss weitere Unterabteilungen, und zwar kann man mit Ratzel [18] die einfachen von den doppelten Meeresküsten trennen, bei welch letzteren zwischen die wahre Küste und eine unaufhaltsamen Angriffen ausgesetzte Vorküste ein seichter Meeresarm eingeschoben ist.

h) Friesischer Typus; Wattenküste. West-, Ost- und Nordfriesland weisen gleichmässig einen solchen schützenden Inselkranz auf (Texel, Schelling; Borkum, Norderney, Langeoog, Juist; Halligen, Sylt, Föhr, Amrum, Pelworm). Die Küste selbst begünstigt, wie v. Buch hervorhebt [19], die Schiffahrt gar nicht, aber die Aestuarien der grossen Binnenlandströme erschliessen auch die an sich schwer zugänglichen Länder der Teilnahme an der Weltwirtschaft. Eine vortreffliche Schilderung des Wattenmeeres, welches die Eilande vom Festlande trennt, hat E. Träger [20] gegeben; Fig. 115 gibt einen Ueberblick über denjenigen Teil dieses Meeres, welches vor den Mündungen der Elbe und Weser liegt und durch seine zahlreichen Untiefen der deutschen Nordküste einen ausgezeichneten Schutz gegen feindliche Angriffe gewährt, indem nach Wegnahme der Seezeichen

(Leuchtfeuer, Bojen) kein Schiff ohne ortskundigen Führer den Weg durch die gewundenen Fahrstrassen findet [21]. Zur Ebbezeit hat sich von den Watten, deren Breite zwischen 12 und 30 km schwankt, das Wasser oft derart zurückgezogen, dass sie ganz anstandslos begangen werden können; den Fischern bieten sie dann eine reiche Ernte dar.

i) Preussischer Typus; Haffküste. Ein irgendwie vom freien Meere abgeschnürter Meeresteil unterliegt in feuchtem Klima, wenn Wasserläufe in ihm ihr Ende finden, fortschreitender Aussüssung, in trockenem Klima langsamer Austrocknung [22]. Langgestreckte Haken oder Nehrungen — die erstere Bezeichnung ist nach Bornhöft [23] bei den flachen Buchten oder Bodden Vorpommerns, der letztere in West- und Ostpreussen gebräuchlich — schliessen das mit brackischem Wasser gefüllte Becken von der hohen See ab. Allerdings ist dieser Abschluss kein vollständiger; schmale Oeffnungen (bei Pillau und Memel) halten die Verbindung offen, und heftige Durchbrüche der Meereswogen verwandeln

Fig. 115.



die Haffe gelegentlich wieder in Tiefe (S. 405). Bei Ackermann [24] finden wir eine ganze Anzahl solcher Dammbrüche verzeichnet. Im Russischen heisst eine solche Landzunge, wie Kohl [25] sie charakterisiert, Peresip, der in Aussüssung begriffene Meeresteil (s. o.) Liman, die Kommunikationsöffnung Girl. Die Landzunge von Arabat am Asowschen Meere ist ein besonders typisches Beispiel für Bildung von Nehrungen.

k) Venetianischer Typus; Lagunenküste. Lässt man die Begriffe Haff und Lagune sich decken, was z. B. Penck [26] für statthaftet erachtet, so ist zwischen dem preussischen und venetianischen Typus nicht nur grösste Aehnlichkeit, sondern sogar vollkommene Identität anzuerkennen. Philppson dagegen will [27] die Bezeichnung Lagune nur dann angewandt wissen, wenn seewärts die Nehrung — nunmehr Lido genannt — und auf der Landseite Flussanschwemmungen die abgetrennte Meerespartie begrenzen. An der Nordost- und Nordseite der Adria sehen wir die Lagunenküste am stattlichsten entwickelt; die Städte Venedig, Chioggia, Burano gehören derselben an, und auch Grado nebst Aquileja kann hinzugenommen werden, indem nur der Lido von Grado in eine Inselschnur aufgelöst erscheint. Die Geschichte der ehemaligen Königin der Meere liefert sattsame Belege für die wirtschaftspolitische Bedeutung dieses Küstentyps. Die Küstengliederung (S. 414) wird eine äusserst feine und schwer übersichtliche; Messungen in dieser Hinsicht wurden von Weidemüller [28] vorgenommen.

l) Gascognischer Typus; einfache Flachküste. Die einförmige Flachküste, welche sich zwischen Gironde und Adour hinzieht, wiederholt sich auch sonst vielfach, z. B. in Belgien und Nordholland; Strandseen (Étangs) sind meist zahlreich vorhanden, aber die Lostrennung vom Meere ist jetzt eine vollständige geworden, so dass, südwestlich von Bordeaux, einzig noch das Bassin d'Arcachon den Haffcharakter an sich trägt. Die Étangs sind meist Miasmenherde, und ihrer Gesundheitsgefährlichkeit halber [29] begünstigt man den Austrocknungsprozess. Auch die südfranzösische Küste ist reich an solchen Strandseen, im übrigen aber weit reicher gegliedert.

m) Hinterindischer Typus; Bogenküste. Sowohl dieser Typus, wie auch fast jeder der noch folgenden ist auf v. Richthofens Initiative [30] zurückzuführen. Konvexe und konkave Schwemmlandvorsprünge stellen in verschlungenem Bogen die Verbindung zwischen den an die Transversalküste (S. 589) hinaustretenden Gebirgsenden her. So verläuft die Küste, von der Halbinsel von Malakka abgesehen, zwischen der Bay von Bengalen und Cochinchina, und auch die Nordküste des südamerikanischen Staates Columbia weist ähnliche Verhältnisse auf.

n) Guyana-Typus; marine Schwemmlandküste. Die Alluvionalthätigkeit kommt in vorliegendem Falle in erster Linie dem Meere zu. Nach v. Richthofen (s. o.) beruht das Wesen dieses Typus „auf Ansatz von flachem Schwemmland durch Meeresströmungen und Ablenkung der Flüsse des Festlandes in Linien, welche der Küste parallel sind". Lagunenbildung ist nicht ausgeschlossen.

o) Patagonischer Typus; gehobener Meeresgrund mit Unterbrechungen. Die Küste steht im Zeichen negativer Strandverschiebung, doch kann der Meeresgrund nur da zum Vorschein kommen, wo das Gebirge, gerade wie beim hinterindischen Typus, ans Ufer vortritt. „Neben vielen anderen Küsten, z. B. manchen nicht vergletschert gewesenen der arktischen Regionen, ist hier an diejenigen des südöstlichen Kalabrien und anderer Teile von Italien zu erinnern [31]."

p) Ostafrikanischer Typus; gehobener Meeresgrund ohne Unterbrechungen. Die Gebirgsrippen fehlen diesmal, und so ist die Küste, die vor nicht sehr langer Zeit noch Meeresboden war, glatt, flach, hafenarm, schwer zugänglich.

q) Balearen-Typus; Calaküste. Als Calas kennt man nach Penck [32] auf den Balearen und der Malta-Gruppe tief eingeschnittene, ungefähr halbkreisförmig begrenzte Buchten, die ebenso am Roten Meere sich finden und dort Scherme genannt werden. Die Formen entsprechen einer Steilküste, deren Strandlinie sich im Zustande einer positiven Bewegung (S. 561) befindet.

r) Typus der Ausgleichsküste; nicht an bestimmte Regionen gebunden. So nennt v. Richthofen (s. o.) Küstenformen, welche keiner der bisher aufgestellten Rubriken einzuordnen sind, aber doch gewisse verwandtschaftliche Züge hervortreten lassen. Dahin gehören ein stetiger, durch keinerlei plötzliche Abweichungen (Buchten, Flussmündungen) unterbrochener Verlauf.

Damit ist die genetische Küstentafel in der Hauptsache fertig. Ihre Konstruktion gewährt den Vorzug, dass wir nunmehr, wenn wir in die eigentlich morphologische Untersuchung eintreten, gleich mit festen Begriffen rechnen und uns auf bekannte Paradigmen berufen können. Manche Definition, die von verschiedenen Autoren aus guten Gründen für gewisse Zwecke gebraucht wurde, ward allerdings in die Tafel nicht aufgenommen, weil ihr der charakteristische regionale Hintergrund mangelt. Wir erwähnen hier nur noch der allenthalben nachweisbaren gelappten Küsten von Penck [33], als deren Kennzeichen angegeben wird, dass, falls a das Gesamtareal der einen Meereseinschnitt umfassenden Landesvorsprünge (Vorgebirge) und b dasjenige der von Land umgebenen Wasserfläche bedeutet, immer $a < b$ ist, wogegen für gebuchteten Küstenverlauf gegenteils $a > b$ wäre. — Unsere weitere Aufgabe besteht jetzt darin, die teils zerstörende, teils auch wiederherstellende Aktion des Meeres zunächst gegen-

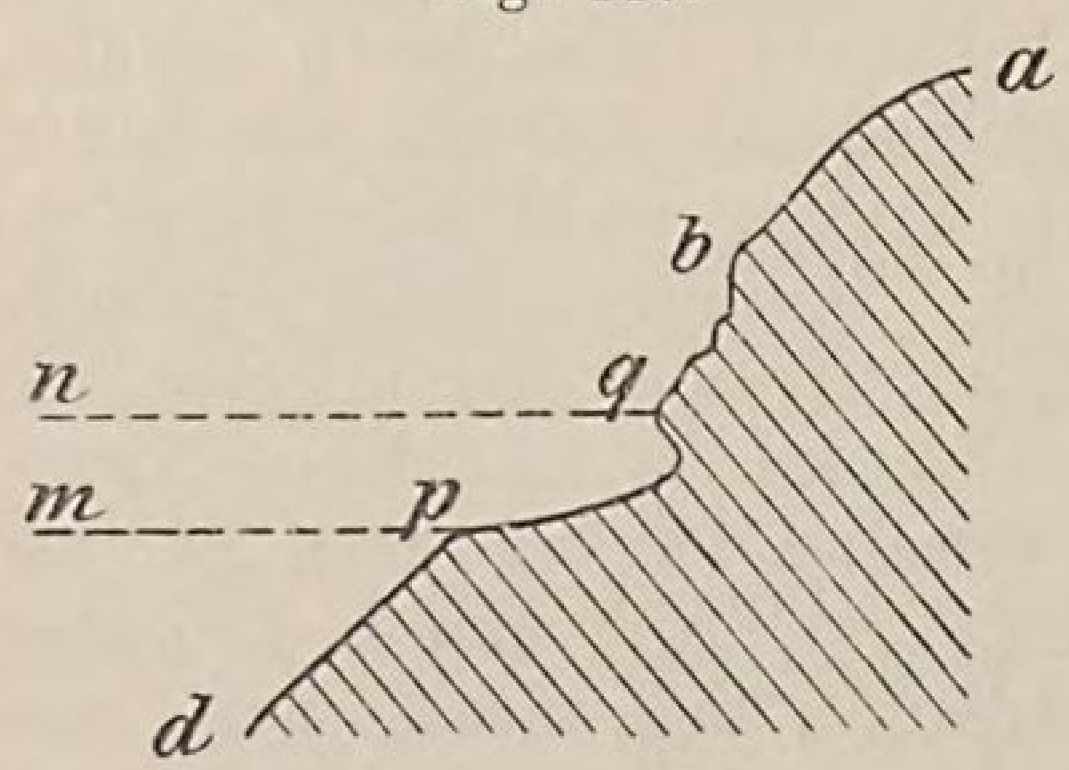
über der Steilküste und sodann gegenüber der Flachküste in Betracht zu ziehen. Es wird sich zeigen, dass gewisse Modalitäten, auf welche wir geführt werden, wichtig genug sind, um in besonderen Paragraphen behandelt werden zu müssen.

§. 2. **Die Steilküste unter der Einwirkung der Meeresbewegungen.** Auch ein vollständig ruhiges Meer würde eine unmittelbar aus ihm aufsteigende Küstenwand in ihrem Bestande gefährden, denn die unter Wasser befindlichen Teile unterliegen chemischen Veränderungen, welche von denen, welchen die mit der Luft in Berührung stehenden Partien ausgesetzt sind, verschieden sein werden. Die Zersetzung des Gesteines wird sich also sogar in diesem Falle nach längeren Zeiträumen geltend machen müssen. In ungleich höherem Grade wird aber die mechanische Wirkung des bewegten Meeres die Kohäsion der die Steilküste bildenden Materialien überwinden, sei es, dass wir es mit Strömungen, mit den Gezeiten, mit Eismassen oder bloss schlechtweg mit der Brandungswoge zu thun haben. Selbstredend wird es auch einen namhaften Unterschied machen, ob die Steilküste aus festem Gesteine oder aus anderen, minder widerstandsfähigen Stoffen sich aufbaut.

Eine kräftigere morphologische Bethätigung der eigentlichen Meeresströmungen ist bisher nicht nachgewiesen worden, und mit Rücksicht auf das, was (S. 495) über die Art dieser Bewegung bemerkt wurde, auch wenig wahrscheinlich. Die von namhaften Geologen festgehaltene Ansicht [34], dass Festlandthäler der Erosionswirkung von Strömungen zugeschrieben werden dürften, ist nach Penck [35] zumal von Maw [36] als irrig erklärt worden, und unsere früher schon (Abt. VI, Kap. II, §. 5) gewonnene Ueberzeugung, dass die Vertikalgliederung des Meeresgrundes eine ganz unverhältnismässig einfachere ist, als diejenige des Bodens des Luftozeans, wird also nur bestätigt. Höchstens hinsichtlich der oft (vgl. S. 505) recht energischen Strömungen in Meeresstrassen hält Penck [37] eine schärfer markierte Kraftwirkung — Durchschneidung entgegenstehender Falten — nicht geradezu für undenkbar. Wir möchten mit Bezug auf die Dardanellenstrasse hier übrigens einwenden, dass, wenn man auch Limpricht [38] in der Identifizierung dieser Meerenge mit einem Flussdurchbruche beipflichten will, damit doch für die Hauptfrage noch nichts entschieden wäre, da nach Philippson [39] (S. 405) anzunehmen ist, es sei das Hohlformensystem an der europäisch-asiatischen Grenze auf dem Festlande präformiert gewesen und erst nachher unter das Meer hinabgetaucht.

Weit mehr vermag zweifellos das Wechselspiel von Ebbe und Flut zu leisten. Es wird ein ziemlich breiter Streifen der Steilküste, an welche die Gezeiten heranreichen, zermürbt und zum Zerbröckeln disponiert. Immerhin darf man das Resultat dieser Aktion nicht überschätzen; davor hat bereits Élie de Beaumont [40] gewarnt. Wie es dabei zugeht, ersieht man aus der Darstellung v. Richthofens, welche Fig. 116 erläutert. Unter der Voraussetzung, dass die Wasserlinie konstant bleibt, arbeitet das längs der Küste a b d steigende und fallende Meer zwischen seinem Niedrigwasserstande p m und seinem Hochwasserstande q n eine Hohlkehle heraus, und es kommt auf den besonderen Fall an, ob es bei Bildung einer einfachen Strandterrasse verbleibt (S. 562), oder ob der obere Teil der Wand, seiner Stütze teilweise beraubt, nachstürzt. — Gewichtiger können ab und zu die Gezeitenströmungen (S. 480) an der Modellierung der Küste sich beteiligen, doch ist,

Fig. 116.



wie aus Krümmels Untersuchung [41] über diesen Gegenstand hervorgeht, ihre Leistung hauptsächlich bei Flachküsten eine mehr in die Augen fallende. Wir werden in §. 6, welcher der Aufschüttung von vorher nicht vorhandenen Erhebungen im Gebiete des Küstenwassers sein Augenmerk zuwendet, hievon noch zu sprechen haben.

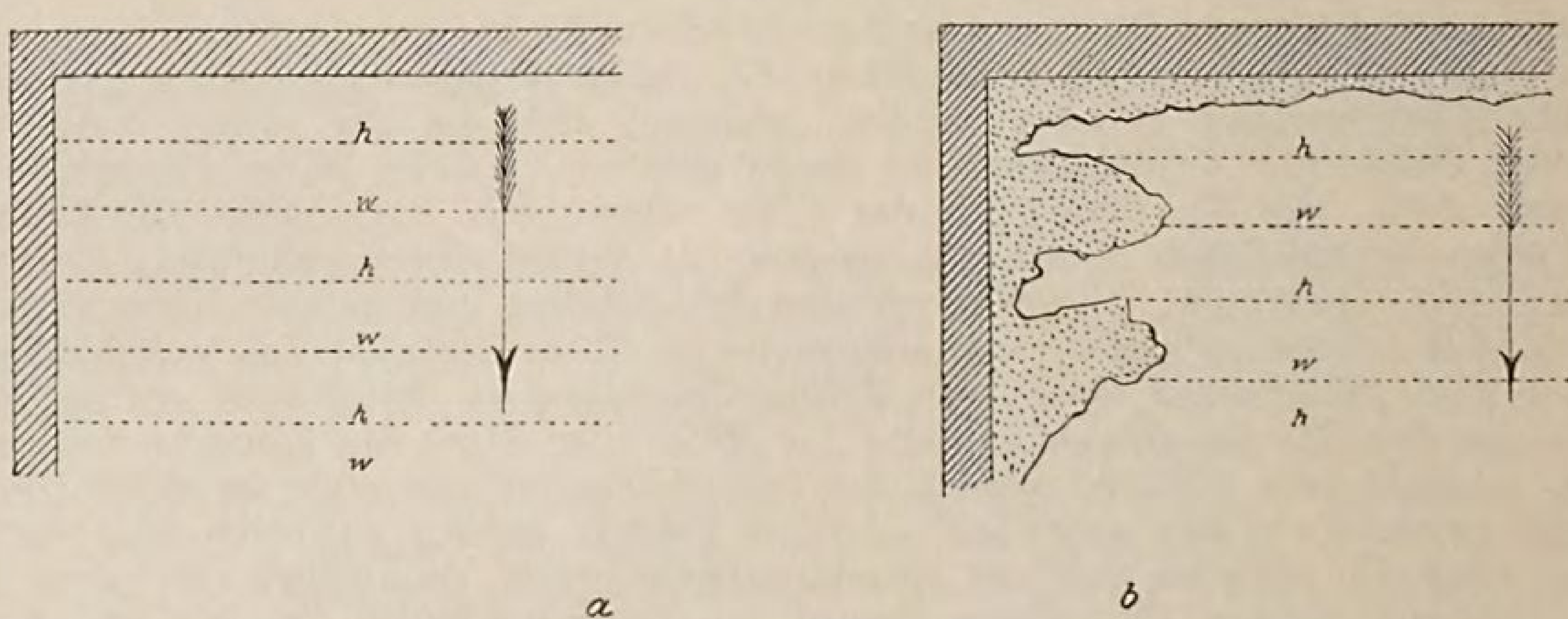
Recht wirksam wird nicht selten auch der Einfluss des gefrorenen Wassers. Schon der Eisfuss, dessen oben (S. 547) gedacht ward, kann, wie Penck bemerkt [42], zum morphologischen Faktor werden, indem er durch Seewinde und Seegang an das feste Land angepresst wird, „wobei er grosse Blöcke vor sich her drückt, das Strandmaterial vor sich aufstaut und ein felsiges Gestade abscheuert". Das lehren die von Milne [43] erforschten Küstenveränderungen in Neu-Fundland, und man wird sich über derartige Beschädigungen der Meeresküste gewiss nicht wundern dürfen, wenn man vernimmt, das Goebeler [44], ein sehr zuverlässiger Beobachter, durch Eisdruck entstandene Uferwälle sogar an märkischen Binnenseen konstatieren konnte. Aber auch treibendes Eis, möge seine Entstehung welche immer sein, kann sehr energische Scheuerwirkungen bekunden, wie dies die Nachweise von Hartmann [45] näher darthun. Die Küste wird abgeschliffen und geschrammt, zuletzt geradezu gerundet; Stellen des Uferfelsens, welche der sonst reichlich vorhandenen Vegetation entbehren, sah auch Bessels [46] als Zeugnisse für die Eisabreibung an. Endlich ist neben der pressenden und scheuernden Thätigkeit des Eises auch noch eine aufwühlende zuzugestehen [47], durch welche trichterförmige Löcher in das Küstenvorland gebohrt werden, während sich die auf solche Weise losgelösten Stein- und Erdfragmente zu denen gesellen, welche durch Pressung entstanden sind. Die Blockwälle des Ufers setzen sich aus diesen Zerstörungsprodukten verschiedenen Ursprunges zusammen. Zumal durch kanadische Gelehrte (Bagfield, Dawson, Chambers) sind Schliffflächen und andere durch schwimmendes Eis zuwege gebrachte Veränderungen des Normalzustandes an verschiedenen Stellen der atlantischen Küste von Britisch-Nordamerika festgestellt worden [48]. Zumal an der Bai des Chaleurs bleibt bis März oder April die Eisdecke fest, und wenn sie sich dann zerteilt, werden die Treibeisschollen mit nicht unbeträchtlicher Gewalt gegen die Küste getrieben. — Diese Gewalt erfährt natürlich eine Steigerung, wenn die Schollen von der Brandungswoge erfasst und gegen die Küste geschleudert werden [49]. Einen Begriff von der potentiellen Energie, welche in einer mit Eis beladenen Welle aufgespeichert ist und bei plötzlicher Stauung aktuell wird, geben uns die früher (S. 467) beschriebenen Eisvulkane. An Beispielen erörtert Hind [50] die Scheuerkraft der vom arktischen Strome (S. 503) herabgetriebenen Eisschollen („Pans") an der Küste von Labrador.

Damit sind wir denn bei der Brandungswoge selber angelangt, die ebensosehr mit eigenen Mitteln, wie auch durch die von ihr transportierten Gesteinstrümmer an der Zerstörung der sich ihr entgegenstellenden Steilküste arbeitet. Die Formen, unter denen sich diese Zerstörung vollzieht, schildern uns anschaulich Geikie [51], Hahn [52], v. Richthofen [53], Penck [54]. Ueber die Leistungsfähigkeit der Brandung wird verschieden geurteilt [55]; der Hypothese Ramsays, welcher zufolge [56] diesem Anpralle ganze Kontinentaldecken zum Opfer fallen sollten, trat Geikie [57] mit einer weit mässigeren, auf Rechnung gegründeten Einschätzung des Brandungseffektes entgegen. Die Forscher angelsächsischer Zunge haben sich, wie Pencks Ueberblick lehrt [58], sehr fleissig bei diesen Diskussionen beteiligt, und es sind namentlich Maw [59] (S. 594) und Wynne [60] auf Geikies Seite getreten. Solange der in Angriff genommenen Küste keine erkennbare Strandverschiebung eignet, wird allerdings die Abtragung der Küste sich innerhalb ziemlich enger Grenzen bewegen, allein ganz anders gestaltet sich (s. in §. 3) der Sachverhalt, sobald die Küste positiv bewegt ist.

Die Brandung beginnt, wie wir sehen, mit der Ausmeisselung der von den extremen Wasserständen der Flut und Ebbe eingeschlossenen Hohlkehle (Fig. 116). Sowie zu solcher einmal der Grund gelegt ist, wird sie durch das anstürmende Wasser immer weiter ins Gestein hineingetrieben, während zugleich Felsmassen von oben nachstürzen. Die ansteigende Fläche nähert sich immer mehr einer Horizontalebene;

aus der anfänglichen Strandlinie wird die Strandterrasse. Je breiter und flacher geneigt diese aber wird, um so mehr schwächt sich die Kraft der Woge ab, denn diese rollt jetzt nur noch über die Terrasse weg, findet aber keine Hervorragungen mehr, die sie zu nivellieren vermöchte. In weichem Gesteine arbeitet die Brandungswelle schneller und leichter, und so ist es begreiflicherweise von Wichtigkeit, ob innerhalb des Spielraumes, der jener gelassen ist, Schichten von ungleicher Widerstandsfähigkeit wechsellagern, oder ob die Masse sich in dieser Hinsicht einheitlich verhält. Auch ist es keineswegs gleichgültig [61], ob die Küstenrichtung mit der Streichungsrichtung der Schichten übereinstimmt oder nicht. Im ersteren Falle verliert die Küstenlinie durch die Gesteinszerstörung ihre frühere Richtung nicht, wird vielmehr nur parallel mit sich verschoben; kann dagegen der Härtewechsel zwischen den einzelnen Gesteinslagen, wie er in Fig. 117a durch die Buchstaben

Fig. 117.



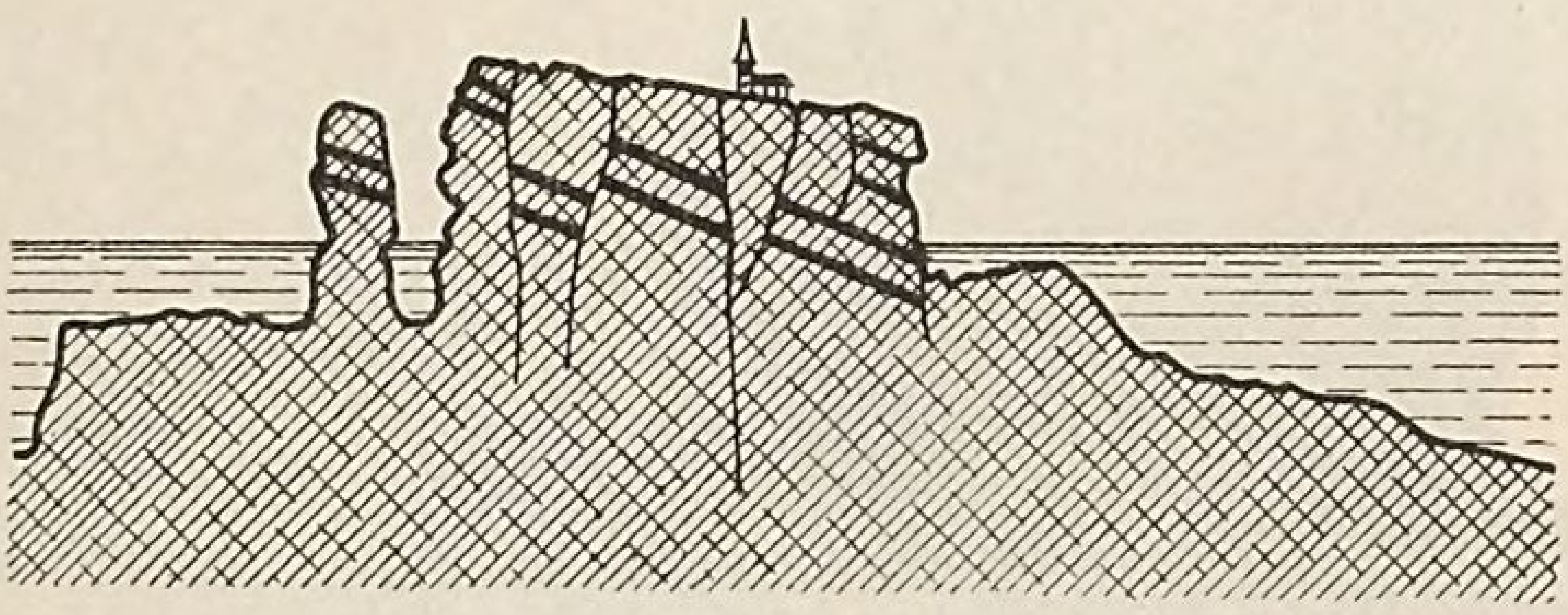
h und w angedeutet ist, zur Geltung gelangen, indem zugleich der Pfeil die Fallrichtung der Schichten kennzeichnet, so wird zwar noch der Ebbestand der ursprünglichen Begrenzung folgen, aber im Flutniveau wird sich nach und nach eine Begrenzungslinie herausbilden, wie sie Fig. 117b zur Anschauung zu bringen sucht. Die „unruhige Gestalt“ der „Riasküsten“ (S. 590) kann, ebenso wie diejenige der westirländischen Küste (S. 597), als eine Konsequenz dieser Art der Meereseinwirkung auf anstehendes Gestein betrachtet werden.

Manches sekundäre Moment unterstützt die Angriffe des Wassers auf eine Steilküste; ist letztere zugleich auch feuchten Winden und der Regen- oder Wetterseite zugekehrt, so schreitet die Abnützung der Gesteinsmassen rascher fort. Die direkt zerstörende Aktion des Windes tritt ja, wie Kapitel V der VIII. Abteilung darzulegen haben wird, den Küsten gegenüber minder deutlich hervor, aber zu unterschätzen ist sie nach Hahns Ausführungen [62] doch auch in keiner Weise. Aber auch die Vegetationsbekleidung der Küste kann der Tendenz des Wogenpralles vorarbeiten. So wird von J. Walther [63] unsere Aufmerksamkeit auf den Bändertang (Laminaria digitata) gelenkt, der die Felsblöcke, an denen er haftet, fest umklammert und an der Lostrennung einzelner Gesteinsstücke vom Hauptkörper erheblich beteiligt ist. Alle die Faktoren überhaupt, welche wir am soeben genannten Orte als Beförderer des Verwitterungs- und Zersetzungsprozesses kennen lernen werden, spielen auch bei der Umgestaltung der Steilküsten eine Rolle.

Es mag sich empfehlen, an einem Vielen bekannten und zugänglichen Beispiele die Leistung der Meereswogen und ihrer Verbündeten eingehender zu erläutern. Als ein solches Beispiel eignet sich die Insel Helgoland, die denn

auch schon sehr häufig nach dieser Seite hin untersucht wurde, ohne dass man selbst jetzt noch von einem Abschlusse dieser Studien zu sprechen berechtigt wäre. Seit Adam von Bremen (I, S. 40) zuerst seine Beschreibung des von den Wellen umbrausten Eilandes Farria gegeben [64], war die Sage emsig bemüht, demselben einen sehr grossen Umfang anzudichten, der unter dem Einflusse der Brandung sich immer mehr verminderte, bis nur mehr der uns heute bekannte Felsklotz nebst Vorland und Düne (im ganzen 0,62 qkm Flächeninhalt) übrig blieb. Es ist dies ein historischer Irrtum, der, obgleich ihm Hahn [65] und H. Wagner [66] bereits vor längerer Zeit entgegentraten, nur schwer aus der Welt zu schaffen ist. Begonnen hat mit der sachlichen Kritik der vorhandenen Erzählungen der verdienstvolle hanseatische Geschichtschreiber Lappenberg [67], und ihm folgte das grundlegende, auch hier vielfach verwertete Werk von K. M. W. Wiebel [68]. Man unterzog die angeblichen Quellen sorgfältiger Prüfung und fand, dass die Angaben über die dereinstige Grösse der Insel hauptsächlich aus der Karte Johann Mejers gezogen waren, der 1638—48 die Herzogtümer Holstein und Schleswig bereist und aufgenommen hatte; 37 Karten hatte er Dankwerts Landeskunde Nordalbingiens [69] beigegeben, und diese galten lange als unantastbare Quelle. Allein schon Geerz [70] betonte, man brauche das Verdienst Mejers nicht zu unterschätzen, wenn man gleichwohl Zweifel hege, ob diese Menge von Karten wirklich das Ergebnis einer Vermessung sei. Noch entschiedener ging Lauridsen [71] den Phantasmen des genannten Kartenzeichners zu Leibe, und Ruge konnte [72] dessen Wahrnehmungen in den Worten zusammenfassen: „Mejers

Fig. 118.



historische Karten haben sich lange eines unverdienten Rufes erfreut.“ Auch G. Schneider betont [73], dass die Beschreibung des Bremer Domscholastikers ganz gut auf die vielgenannte, dreieckige Gestalt passe; dass aber bei fortgesetzter Vernichtung durch die Wellen die Insel zwar kleiner geworden, sich aber immer geometrisch ähnlich geblieben sei, ist doch äusserst unwahrscheinlich. Den heutigen Stand der Helgoland-Frage charakterisiert eine Monographie von Tittel [74], und auch J. Walther [75] verbreitet sich über die hier in Betracht kommenden Probleme der dynamischen Morphologie. Seinem Buche ist unsere Fig. 118 nachgebildet, welche einen Vertikaldurchschnitt durch den Helgoländer Felsen vor das Auge stellt.

Das geologische Alter desselben weist einzig auf die mesozoische Aera (S. 332) hin, und es sind dort weder sehr alte, noch auch irgendwelche neuzeitliche Bildungen anzutreffen. Die Mitteilungen Lorenzens [76] besagen, dass Helgoland geologisch zu Deutschland gehört, indem die mesozoischen Ablagerungen dortselbst ganz mit denjenigen übereinstimmen, welche sich auch am Zeltberge bei Lüneburg finden; nur in der allerältesten Kreidezeit dürfte die Insel ein Pfeiler der Norddeutschland mit Britannien verbindenden Landbrücke gewesen sein. Seitdem erstere isoliert aus den Fluten ragt, sind diese unaufhörlich beschäftigt, den mächtigen Triasfelsen, welcher die Hauptmasse bildet, abzutragen und zu zersplittern, doch ist ihnen dies bisher nur in beschränktem Mafse gelungen. Indem wir zum Belege dafür, dass es sich wirklich so verhält, auf Tittels umfassende Darstellung [77] und die Schilderung Helgolands von Schwahn [78] verweisen, gehen wir jetzt zu einer Detailschilderung der Veränderungen über, welche die Wogen bewirkt haben und auch in der Gegenwart noch bewirken. Aus dem Riffgürtel, der die Felsklippe umzieht und aus Buntsandstein, der ältesten triassischen Schichtenfolge, besteht, kann man schliessen, dass dereinst die Insel ein wenig

grösser war, als sie gegenwärtig ist. Gerade diese Unterlage, der thonhaltige Sandstein, dessen rotbraune Farbe der Insel ihr charakteristisches Gepräge gibt, ist nach den Forschungen des schwedischen Geologen Sjögren [79] nur von lockerem Zusammenhange und leicht auszuwaschen; neben dem direkten Wasserstosse trägt zur Gesteinsauflösung auch die bei den Eisbergen (S. 535) schon als sehr wirksam erkannte Sprengkraft des gefrierenden Wassers bei. Frost, Niederschläge und Sonnen-

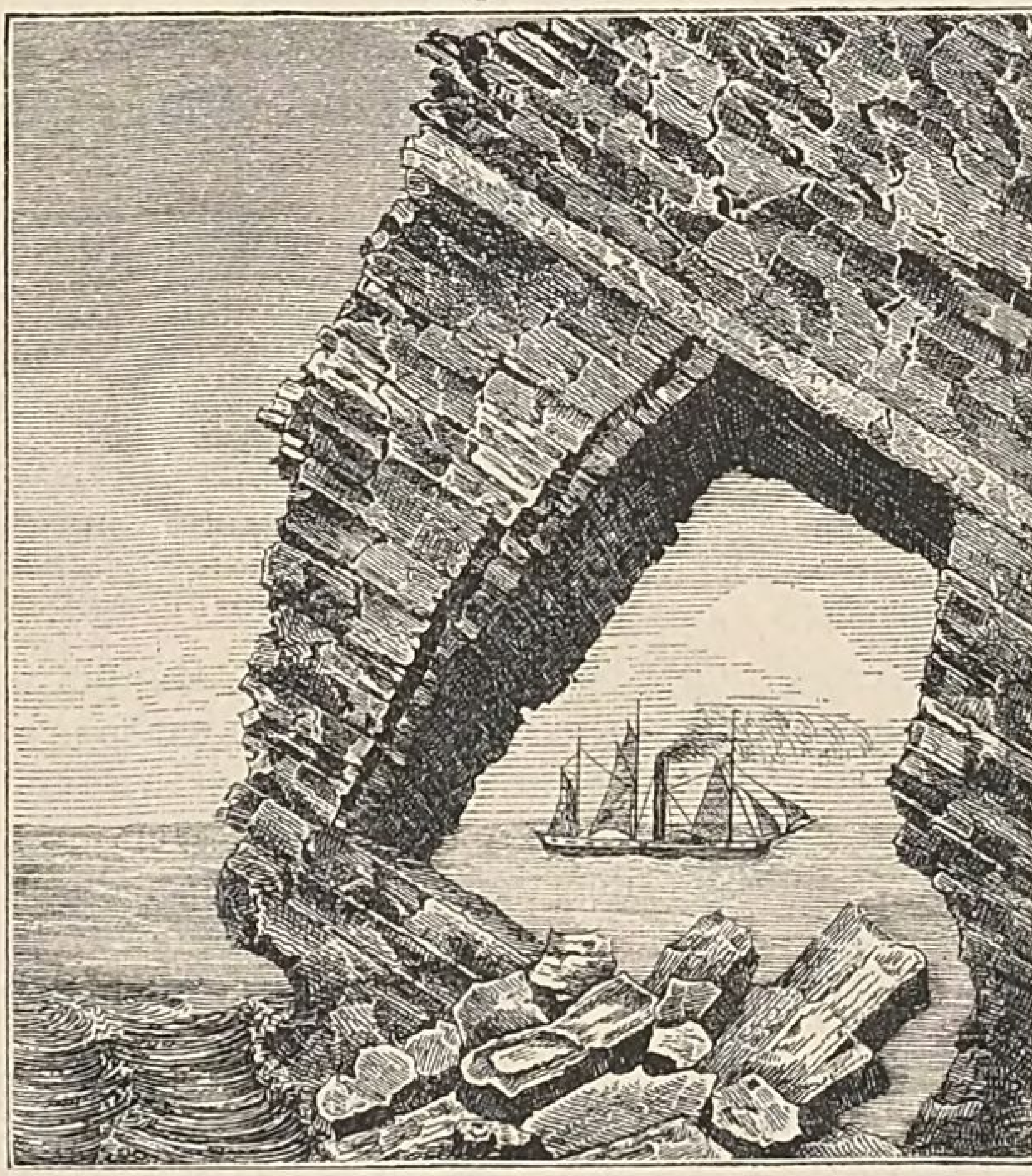
Fig. 119.



wärme bearbeiten namentlich die Ecken des Felsenprismas, und es ist bekannt, dass Geländer an den exponiertesten Stellen, so wünschenswert sie wären, nicht angebracht werden können, weil sie doch früher oder später ins Wanken geraten und dann erst recht Gefahr bringen. Alle diese Faktoren bereiten nun, in den tieferen Lagen, der Brandung das Feld; die Welle dringt in die vorhandenen Spalten ein, spült sie aus und nimmt bei jedem Rücklaufe („Sog“; vgl. S. 445) eine gewisse Menge losen Materiales mit sich fort. Die widerstandsfähigeren Felsteile werden so oft zu halb oder ganz isolierten Säulen oder Hörnern (Nordhorn, Südhorn); zwischen ihnen und der Hauptinsel klafft ein Thor oder Gatt [80]. Unsere Fig. 119 kann dazu dienen, den Ablösungsprozess zu veranschaulichen; noch

eine beredtere Sprache spricht Fig. 120, welche das im Jahre 1865 eingestürzte Mörmersgatt [81], einer Zeichnung Wiebels entsprechend, vorführt. Mit dem Namen Stack bezeichnet der Helgoländer den noch stehenden, einzigen Tragbogen eines solchen eingebrochenen Gewölbes; Ofen nennt er die Höhlungen, welche die Flut im Gesteine herausgearbeitet hat. Den gleichen Namen tragen auch die an der Küste Bornholms entstandenen Hohlräume, wogegen die loch- und kanalförmigen Vertiefungen an der Kreideküste Moëns von R. Credner [82] auf Windwirkung zurückgeführt werden. Auch an dieser Kliffküste hilft alles zusammen, um den Gang der Zerstörung zu beschleunigen; im Jahre 1868 stürzte eine Masse von 3 Millionen Kubikfuss in die Tiefe [83]. Mehrere treffende Abbildungen helgoländischer Hörner, Stacke und Gatte bringt das Bilderwerk von Lipsius [84]. Die wichtigsten Veränderungen, welche der Aspekt der jüngsten Erwerbung Deutschlands seit 1652 erlitten hat, wurden von Tittel [85] zusammen-

Fig. 120.



gestellt. Sie sind gewiss, vorab unter dem landschaftlichen Gesichtspunkte, nicht unbeträchtlich, aber als tiefere Eingriffe in den Inselkörper stellen sie sich samt und sonders nicht dar, und das morphologisch bedeutsamste Ereignis bleibt nach wie vor die Abtrennung der sogenannten Düne. Dieses Ereignis ist auf den 31. Dezember 1720 und 1. Januar 1721 anzusetzen [86], obgleich der vorher beide Inselteile verbindende Steinwall sich auch nachher noch vorübergehend wieder ergänzte.

Eine ungefähre Berechnung der Verluste, welche Helgoland in gegebenem Zeitraume zu erleiden hat, wurde von Wiebel durchgeführt [87]. Er warf die Frage auf, ob sich nicht „ein zuverlässiger Destruktionskoëffizient“ ermitteln lasse, und suchte denselben durch wiederholte trigonometrische Vermessung gewisser besonders stark in Anspruch genommener Inselparzellen zu bestimmen. Er fand [88] 10 Fuss als Betrag des Weges, um welchen im Laufe eines Jahrhunderts das Meer landeinwärts schreitet; „rechnet man danach auf die Zeiten Adams von Bremen, Karls des Grossen und des Friesenkönigs Radbod zurück, so ist entschieden, dass damals die Insel nur um weniges grösser war, als jetzt“. E. Lindemann [89] berechnet einen stärkeren Landverlust, aber Tittels Revision [90] gab die Gewiss-

heit, dass eine exakte Vergleichung der von Wiebel und Lindemann erhaltenen Resultate überhaupt nicht angängig ist. Mag man aber auch den Destruktionskoëffizienten des ersteren für zu gering halten, so viel steht doch fest, dass Helgoland nach allem menschlichen Ermessen noch eine sehr lange Lebensdauer beschieden ist, und Walther urteilt [91] gewiss zu pessimistisch, wenn er annimmt, allerspätestens nach 12000 Jahren müsse sich das Verhängnis des Eilandes erfüllt haben. Es scheint uns dabei ein Punkt nicht ausreichend berücksichtigt zu sein, der nämlich, dass gerade die Riffe, welche als Reste früherer Felserhebungen das Ufer (s. o.) umziehen, der Insel einen gewissen Schutz verleihen; sie sind jetzt bis nahe dem Meeresspiegel abgespült, erleiden keine Veränderungen von Belang mehr und erschweren der Brandungswoge den Zugang zum aufragenden Gesteine [92]. Auch die Tange (s. o.) wirken nicht einseitig. „Pflanzen und Meerestiere," so lesen wir bei v. Richthofen [93], „befördern die Zersetzung und Lockerung des Gesteines, üben aber gleichzeitig einen Schutz aus; dies gilt besonders von den langen Tangen, welche die Kraft der Wogen herabmindern, von dünneren Pflanzenüberzügen, welche das Gestein glatt und schlüpfrig machen, von den Kolonien von Austern und besonders Balanen, endlich von allen kalkigen Krustenbildungen." Die Balanen oder Rankenfüsser sind festsitzende Krebstiere, deren Kenntnis von Ch. Darwin [94] am meisten gefördert worden ist.

Ueber die destruktive Aktion der Wellen ist nun einstweilen insoweit Klarheit geschaffen, als es sich mit dem Zweck dieses Paragraphen verträgt. Man darf jedoch nicht übersehen, dass sich neben jene auch eine konstruktive Aktion stellt; an der einen Stelle reisst das Meer Gebäude der Natur nieder, und an einer anderen Stelle führt es solche auf. Zum Teile sind dieselben dem Auge sichtbar, aber auch unter Wasser macht sich die landbildende Thätigkeit der Meeresbewegungen bemerkbar. Als wir von der Beschaffenheit des Meeresgrundes sprachen (S. 411), stellten wir fest, dass der Raum zwischen der Strandlinie und der Isobathe von 200 m als Litoralzone anzusehen und wesentlich mit Festlandtrümmern erfüllt sei. Das Meer ist mithin bestrebt, in der Nähe der Küste den Boden zu erhöhen, und aus der tieferen See wird durch Anhäufung von Festkörpern, welche ehemals einen integrierenden Bestandteil eines nahen oder auch ferneren Küstenlandes gebildet hatten, eine Flachsee.

In seiner bekannten, klaren Weise bespricht v. Richthofen [95] die Aufbereitung und den Transport der Zerstörungsprodukte. Der erstgenannte Ausdruck ist hüttenmännischen Ursprunges; ehe die eigentliche Verhüttung der Erze beginnt, werden sie „aufbereitet", d. h. von allen anhaftenden Nebenbestandteilen gesäubert. Die Saigerung ist eine Weiterführung des Vorganges, indem durch hohe Hitzegrade die leichtflüssigen Teile einer Erzkombination von den schwerflüssigen getrennt werden. Jetzt wird man verstehen, was es heisst, wenn der genannte Autor die Arbeit der Welle, welche zuerst Gestein löst und die zerkleinerten Gesteinsfragmente hierauf abwärts ins Meer führt, mit dem Saigerungsprozesse vergleicht, der allerdings in unserem Falle erst dann zu seiner Reinheit gelangt, wenn ein fertig gebildeter Strand der direkten Zerstörungsthätigkeit Grenzen gesetzt hat. Die Unterschiede, welche durch die Küstenböschung bedingt sind, brauchen nicht als besonders gross vorausgesetzt zu werden; es wird vielmehr der Vorgang an Flach- und Steilküsten ziemlich der nämliche sein. Die grössten Steinbruchstücke häufen sich im obersten Flutniveau an, während feiner Reibsand sich ganz unten an der Böschung ansammelt. Lockeres Material wandert an der Küste hin [96], wie die auf Rügen gesammelten Erfahrungen Philippsons [97] beweisen (Küstenversetzung). An der ganzen Ostküste der Insel Jasmund ist der ganze Strand mit Feuersteinsplittern bedeckt, welche nicht von dort stammen, sondern erst dorthin geschwemmt worden sind. Stets ist in jenen Gegenden die Wanderung von West gegen Ost gerichtet, so dass also auch den Nehrungen (S. 593) eine Tendenz innewohnt, in östlicher Richtung anzuwachsen. Westwinde sind in der Ostsee die häufigst vorkommenden [98], und auf ihr Wehen lässt sich der Transport also indirekt zurückleiten, wobei jedoch zuzugestehen ist,

dass auch für jene Küsten noch der obige Satz gilt, welche nicht mehr in der unmittelbaren Sphäre der westlichen Winde liegen. Ganz allgemein hat man sich zu denken, dass wenn die Richtung der Wellenfortpflanzung mit der Küstenlinie den Winkel α bildet, die Kraft, welche die Residuen längs der Küste fortschiebt, als zu $\cos \alpha$ proportional anzunehmen ist. Strandgerölle bildet sich dadurch, dass jeder Block zugleich mit dem Stosse, der ihn geradenwegs den Strand hinaufwälzt, auch zumeist einen seitlichen Impuls empfängt, durch den eine Bewegung längs der Küste eingeleitet wird. Die kleineren Steinbrocken rollen natürlich auch weiter, die grösseren weniger weit; Sand findet in seiner Bewegung die geringsten Hindernisse. Diese Aufbereitung der Teile nach ihrer Grösse führt mithin eine zonale Anordnung des Strandgerölles herbei. Steinwälle überragen das Mittelwasser oft um mehrere Meter, weil bei ihrer Aufschüttung Hochfluten und Stürme beteiligt sind, während die meist geradlinig verlaufenden Sandwälle mehr in die Breite als in die Höhe wachsen. Diese Geröllansammlungen vereinfachen die Gestalt der Küstenlinie, bilden (s. o.) eine sich stetig verstärkende Schutzwehr des Landes und wirken bei der Bildung von Lagunen und Strandseen mit. Auch die Meeresströmungen thun [98] das Ihrige, um Landanschwemmungen herbeizuführen und zu vergrössern. Das hohe spezifische Gewicht des Meerwassers (S. 430) ist, wie Cialdi [99] und Penck [100] betonen, auch nicht zu unterschätzen, denn es dient dazu, die Stosskraft zu erhöhen, die Transportierung schwererer Körper zu erleichtern. Jedweder Art des Seeganges (S. 445) entspricht auch ein bestimmtes System der Strandwälle, wie dies Redman [101] im Bilde dargestellt hat. Die Grösse der Strandböschung ist vom Materiale abhängig [102]; Régy gibt an [103], dass bei Kies der Sinus des Neigungswinkels im Mittel durch 1 : 10, bei Sand durch eine viel kleinere Zahl (8,7 : 1000 an der atlantischen, 1 : 50 an der nordatlantischen Küste Frankreichs) ausgedrückt wird. Wir erinnern daran, dass die auf Bestimmung dieses Verhältnisses abzielenden Untersuchungen vielfach mit denjenigen sich decken, welche wir anlässlich des Aufbaus der Stratovulkane namhaft zu machen hatten, wo insonderheit auf eine Studie F. Löwes [106] über die Bedingungen, unter welchen Sandhaufen ihre Gestalt bewahren können, hingewiesen war. Je leichter die Flut einen bereits aufgetürmten, aber noch wenig verfestigten Strandwall erreichen kann, desto rascher wird ihn eine ungewöhnlich starke Flut wieder vernichten, denn die Blöcke werden, sobald sie wieder in die Gewalt des Wassers gekommen sind, als Geschosse, als Artillerie des Meeres — nach Geikie [104] — verwendet, um bei der Zerstörung neuer Küstenteile ihre Wirkung zu thun. Die von Hibbert [105] beschriebenen „Travellers" auf dem schottischen Inselchen von Bell Rock erreichen zum Teile ein Gewicht von zwei Tonnen. Zuletzt aber finden sich die Projektile im Bunde mit Bruchstücken derselben Küste, an deren Zerschmetterung erstere so wesentlich beteiligt gewesen waren, wieder in einem neuen litoralen Trümmerwalle zusammen. — Die Frage der Dünenbildung muss später (in §. 6) für sich besonders behandelt werden, und ein Gleiches gilt für die Barrenbildung in seichten Meeresteilen. Vorerst sind, wie eingangs gesagt ward, noch gewisse spezielle Verhältnisse aufzuklären, welche mit der Ausmodellierung bestimmter Arten von Steilküsten in Zusammenhang stehen [106].

§. 3. **Abrasion der Küsten.** Man hat, dem Vorgange v. Richthofens [107] folgend, die mechanische Aktion der Brandungswellen überhaupt in den zahlreichen Fällen als Abrasion (abradere, abscheren) bezeichnet, in welchen die Küste von einer maritimen, positiven Verschiebung der Küstenlinie betroffen ist. Die entgegengesetzte Art der Bewegung ist selbstverständlich der Erhaltung der Küste günstig; ihr verdanken die uns aus Kap. I, §. 2 erinnerlichen, oft in Parallelreihen angeordneten alten Strandlinien ihre Entstehung. Dagegen bringt anscheinendes Sinken der Steilküste dieser nach und nach die völlige Vernichtung, und deswegen ist die einen sehr energischen Eingriff andeutende Bezeichnung gut gewählt. Der gewaltthätig arbeitenden Abrasion stellen wir die geräuschlos, aber stetig thätige Erosion (erodere, ausnagen) gegenüber; beide Arten von Landzerstörung werden uns nur erkennbar durch die im Bunde mit beiden

auftretende Denudation (denudare, entblössen), welche die losgelösten Materialien fortschafft; jeder Denudation muss, da ein Stoffverlust undenkbar ist, an anderen — oft weit entlegenen — Stellen eine Akkumulation (accumulare, aufhäufen) entsprechen.

Geschichtliche Notizen über die Ausdrücke, welche bei jeder Betrachtung der die Erdoberfläche treffenden Veränderungen immer wieder gebraucht werden müssen, hat Penck [108] zusammengebracht; wir fügen hinzu, dass das Wort „erodere" anscheinend zuerst von Seneca [109] in dem uns jetzt geläufigen Sinne gebraucht worden ist. Allerdings spricht er von vulkanischem Feuer; in Anwendung auf das Wasser kommt vielleicht — Anstellung tieferer historisch-etymologischer Studien wäre auch sonst erwünscht — ein ähnliches Zeitwort bei dem Aetna-Beschreiber Bembo vor [110], nach dessen Meinung ein feuerspeiender Berg dann in Thätigkeit tritt, wenn das Meerwasser die schmale Erdschicht zwischen See und unterirdischer Esse (vgl. I, S. 425) zernagt hat („corrodere"). Erosion und Denudation, wie manchmal geschieht, synonym zu gebrauchen, halten wir nicht für erlaubt; auch v. Richthofen [111], Penck [112], Supan [113] und überhaupt die meisten deutschen Fachschriftsteller halten an der Begriffsscheidung fest, ersterer allerdings nur bedingt. Wir wollen uns vorstellen, ein heftiger Wasserguss habe von einer Gesteinsfläche eine oberflächliche Lage losgeschlagen, sei aber gerade an diesem Orte durch plötzliche Aufstauung in seinem Laufe aufgehalten worden; dann hat offenbar die Erosion gewirkt, aber von einer Denudation ist keine Rede, und die losgelösten Fragmente bleiben als Haufwerk da liegen, wo sie sich auch vorher befunden hatten, nur in loserer Verbindung mit dem Untergrunde. Eine tiefere Analyse des Erosionsprozesses kann hier nicht in unserem Plane liegen; sie gehört ins V. Kapitel der VIII. Abteilung, und vorderhand gilt uns nur das eine: Die höchste Steigerung der Erosion wird als Abrasion aufgefasst; der Unterschied ist kein grundsätzlicher, sondern lediglich ein gradueller. Jedenfalls machen wir uns nicht Thoulets Definition [114] — Erosion durch bewegte Luft (vgl. S. 599) — zu eigen. Die abradierende und akkumulierende Wirksamkeit des Meeres finden wir übrigens, Kretschmers Zeugnissen [115] zufolge, schon im allerfrühesten Mittelalter anerkannt. Man lese nur einen massgebenden Satz des Albertus Magnus, bemerkenswert auch deshalb, weil hier schon, wie unser Sperrdruck zu erkennen gibt, dieselbe Nomenklatur auftritt, deren wir uns jetzt noch (s. o.) bedienen. Der Satz lautet: „Tollit enim mare aut undis aut accessu aut recessu multam terram et addit eam super aliam: et ad hoc operatur id quod in precedenti opinione inductum est, quod terra rara et mollis et rasilis est: et ideo in ea frequenter sunt valles et juxta montes ubi durior est et tenacior et radi non potest."

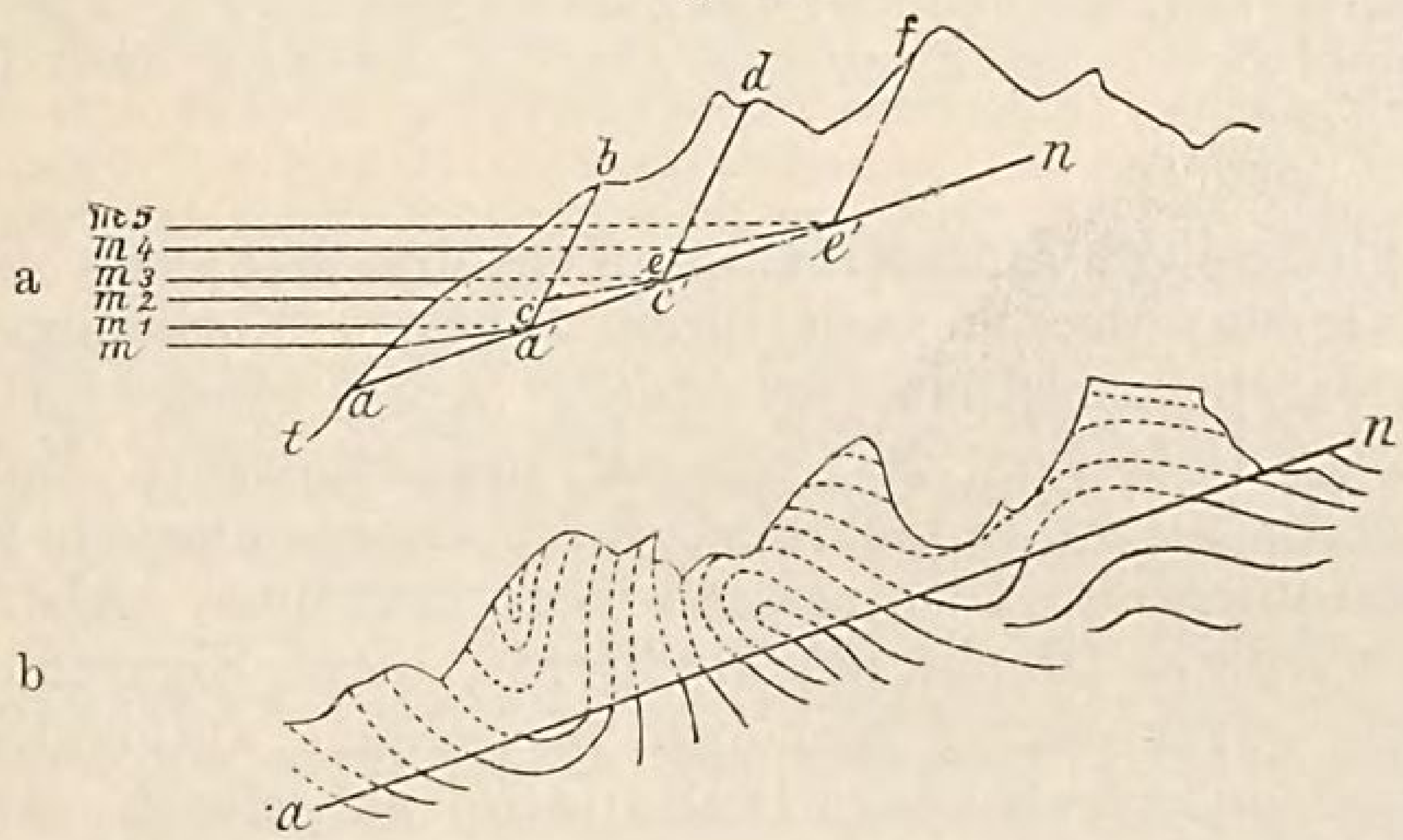
Solange, wurde oben bemerkt, die Wasserlinie stabil bleibt, muss sich die Meereserosion in bescheidenen Grenzen halten. Auch Helgoland (s. o.) würde den bewährten Widerstand nicht leisten können, wenn das Meer vertikal an Terrain gewänne, allein seit Jahrhunderten scheint sich die Lage des Meeresspiegels gar nicht verändert zu haben [116]. Dafür, dass die Abrasion kräftiger einsetzt, sobald ein Landverlust eingeleitet ist, mögen ein paar Belege sprechen. Wie der grösste Teil des Pazifischen Ozeans, so gehört auch die Insel Juan Fernandez einem Senkungsfelde an, und so ist dieselbe denn auch nach Plate [117] im Laufe der Zeit ziemlich bedeutend durch die Brandung verkleinert worden; Höhlen und isolierte Felsen im Brandungsniveau sind nicht selten, und da, wo der regelmässig wehende Seewind dem Wellengange Vorschub leistet, zeigt sich die Zerstörung am ausgiebigsten. Von den Fär-Öer wissen wir auch bereits (S. 571), dass sie dem Anscheine nach abwärts schweben, und dem entspricht die von Iriczek [118] geschilderte Zerklüftung ihrer Steilküsten. Die weicheren Mergelschichten, welche in dem härteren Vulkangesteine (I, S. 396) eingebettet lagen, sind aus diesem herausgeschält worden, und dann ist letzteres nachgestürzt, indem es allenthalben Trümmerwälle („Ur") bildete. Auch sind manche Uferfelsen geradezu durchbohrt worden, wie denn die bekannte Zeolithhöhle von Nolsö fast bis ganz zur jenseitigen Seite des ausgewaschenen Berges durchdringt, so dass der am Ende Stehende deutlich den Wogenanprall von jenseits der trennenden Wand vernimmt.

Anlässlich seiner Wanderungen im chinesischen Küstengebirge machte v. Richthofen [119] die Wahrnehmung, dass die Schichtenden verschiedener Gesteinslagen sich gleichmässig auf einer geneigten Fläche abzeichnen, dadurch verratend, dass ein Teil der sämtlichen Schichten durch eine gigantische Kraft weggenommen sein

müsse. „Unter allen mechanisch zerstörenden Agentien", so drückt sich der berühmte Geograph aus, „gibt es ein einziges, welches die regionale Abrasion im weitgreifendsten Maſse hervorzubringen vermag. Es ist die Wirkung der gegen das Innere eines Kontinentes vordringenden Brandungswelle." Es war zuerst Ramsay [120], der diese Wirkung in ihrer ganzen Grossartigkeit erkannte; die von ihm als „Planes of Marine Denudation" bezeichneten Abschliffflächen sollten viel häufiger vorkommen, als man gemeiniglich glaube, wie er denn auch nicht anstand, die aktuelle Oberflächenbeschaffenheit sehr vieler Länder als Resultat der Abrasion anzusprechen. Pencks Nachweisungen [121] geben ein Bild von dem lebhaften Streite, der um diese Frage geführt worden ist. Die moderne Geodynamik hat unstreitig gezeigt, dass neben dieser marinen Kraftleistung doch auch noch viele andere erosive Faktoren als gleichberechtigt anzuerkennen sind, aber die relative Bedeutung der erstgenannten, die eben erwähntermassen regional hervortritt, bleibt ungeschwächt. Wie hat man sich nun aber die einzelnen Stadien abradierender Aktion vorzustellen?

Auch darauf gibt v. Richthofen erschöpfende Antwort [122]. Das Profil eines Küstengebirges sei tbdf (Fig. 121a). Dasselbe unter-

Fig. 121.



liegt positiver Verschiebung der Wasserlinie, und so wird es kommen, dass in den einzelnen von uns hier betrachteten Zeiträumen Niedrig- und Hochwasser des angrenzenden Meeres bezüglich durch die Spiegelflächen m und m_1, m_2 und m_3, m_4 und m_5 dargestellt sind. Im ersten Zeitraume meisselt die Brandung eine schief aufsteigende Terrasse aa′ aus; jetzt ist das prismatische Gebirgsstück aa′b nicht mehr genügend getragen und stürzt ab. Im Verlaufe des zweiten Zeitraumes erreicht ein gleiches Schicksal, nachdem eine weitere Terrasse a′c′ eingeschnitten ist, das unterspülte Gebirgsstück cc′db, und gleicherweise folgt der Terrassenbildung c′e′ der Nachsturz des Gebirgsteiles ee′fd. So ist zuletzt also die Schlifffläche an die Grenze zwischen dem erhaltenen und dem abgetragenen Teile des ursprünglichen Gebirgslandes geworden. In Fig. 121b sehen wir vor uns, was noch übrig geblieben ist; die Faltenzüge des vernichteten Oberlandes sind andeutungsweise durch Strichelung wiederhergestellt. Ein Abrasionsplateau unterscheidet sich schon dem blossen Anscheine nach augenfällig von einem normalen Schichtenplateau; ein Plateau der ersteren Art hat v. Richthofen [123] am Yanktsekiang angetroffen, und von den Steinkohlenrevieren bei Namur und Dinant behauptet Cornet-Briart [124], in ferner Vorzeit müsse durch die Brandungswoge ein Gebirgsmassiv von 5000 bis 6000 m Höhe hinweggefegt worden sein.

Die einzelnen Vorgänge, aus welchen sich der grosse Abrasionsprozess zusammensetzt, hat Philippson [125] klarzustellen versucht. Thälchen, tektonische Einschnitte, Erosionsrinnen, welche den sonst glatten Verlauf der Steilküste unterbrechen, leisten dem Eindringen der Wellen Vorschub, und so entstehen da, wo die Abrasion rascher fortschreiten kann, kleine Einbuchtungen, umsäumt von Vorsprüngen, welche minder leicht zu zerstören waren. Diese Vorsprünge werden aber bald von beiden Seiten angegriffen, und ehe hier nicht die Aktion der Wellen ihren Zweck erreicht hat, kann auch der Hintergrund der Bucht nicht kräftig bearbeitet werden. Eine rein auf Abrasion zurückführbare Ausgrabung tiefer, langer und schmaler Golfe, zu deren beiden Seiten das Gebirge sich ungestört behauptet hat, ist wenig wahrscheinlich; diese Erkenntnis wird uns im nächsten Paragraphen von Nutzen sein. Unbegrenzt könnte, das ist jetzt schon klar, die Abrasion nicht fortschreiten, weil die Breite der schon gebildeten Terrasse wächst und so verhindert, dass die heranrollende Brandungswoge, da wir es ja mit einer schiefen Ebene zu thun haben, die oberen Teile der letzteren erreicht. Solange die Küste stabil verbleibt, zieht sich längs derselben eine gewundene Linie hin, über welche hinaus die Brandung ihre Macht verliert; dies ist die von Philippson [126] so genannte Abrasionsterminante (terminare, begrenzen). Jede positive Niveauverschiebung gibt aber Anlass zur Bildung einer neuen Terminante, und so muss auch die Abrasion selbst fortschreiten, bis die erwähnte Verschiebung zur Ruhe gekommen ist oder die entgegengesetzte Richtung einzuschlagen beginnt.

§. 4. **Fjorde und Fjordbildung.** Von den Fjorden ist in §. 1 gesprochen worden, indem nach ihrem häufigen Vorkommen ein besonderer Küstentyp seinen Namen erhielt. Auch wurde dort natürlich eine einstweilige Definition des aus der normannischen Volkssprache in den wissenschaftlichen Sprachschatz herübergenommenen Wortes gegeben, die jetzt allerdings noch verschärft werden muss. Als ein tieferer Erforschung würdiges Objekt hat die Fjorde, deren Eigentümlichkeiten natürlich auch zuvor schon manchem Reisenden aufgefallen waren, zuerst der amerikanische Geologe Dana [127] aufgefasst. Nachher hat ihnen Peschel [128] einen von allen Vorzügen seines Autors zeugenden Essay gewidmet, und alle späteren Forschungsresultate, verbunden mit eigenen, finden sich vereinigt in einer Abhandlung von Dinse [129], auf welche auch dieser Paragraph vorwiegend Bedacht zu nehmen genötigt ist.

Darüber, ob bestimmte Meereseinschnitte zu den Fjorden gezählt werden dürfen, sind von je die Meinungen auseinandergegangen. Als Fjordküsten, bezüglich deren es keinerlei Bedenken gibt, sind zu nennen diejenigen von Norwegen, Schottland („Firths"), Nordwestirland, Island, Spitzbergen und einigen anderen arktischen Archipelen. Nicht weniger gehören hierher Grönland, der Küstensaum Britisch-Nordamerikas am Atlantik bis nach Maine hinein, Alaska und das englische Küstenland bis zur Vancouver-Insel. Im Westen Südamerikas reicht die Fjordküste von Puerto Montt bis hinauf zum Feuerland, wo bereits Darwin die Aehnlichkeit einzelner Szenerien mit denjenigen erkannt hatte, die er von Hochschottland her in der Erinnerung trug. Vom Beagle-Kanal sagt er [130]: „Man könnte ihn mit dem Thale von Loch Ness in Schottland mit seiner Kette von Seen und Fjords vergleichen." Neu-Seeland und die Auckland-Inseln gehören gleichfalls hierher, wie wiederum Dana [131] entdeckte und v. Hochstetter [132] bestimmter nachwies. Echte Fjorde besitzen auch die Kerguelen und Süd-Georgien [133]; mutmasslich sind dieselben im antarktischen Festlande recht allgemein [134]. Bei vorstehender Aufzählung wurden die strengeren Kriterien der neuesten Zeit zur Richtschnur genommen, so dass manche Fjordgebiete, deren z. B. Hahn [135] gedenkt, zunächst wegzulassen waren. Der Bretagne waren Fjordbildungen charakteristischen Gepräges von Rütimeyer [136] (I, S. 26) zugesprochen worden; ebenso sollten dieselben auf den Mittelmeerinseln häufig sein und im Roten Meer wie im Persischen Golf, für dessen Scherenbuchten schon C. Ritter die Bezeichnung als Fjorde ge-

wählt hatte [137], häufig vorkommen. Madagaskar und Ostasien wurden gleichfalls hierher gezogen [138]. Bei genauerer Kenntnisnahme dieser Oertlichkeiten und bei gleichzeitiger Präzisierung des Fjordbegriffes schienen sich jedoch Einschränkungen, wie sie oben angegeben wurden, als notwendig herauszustellen.

Dagegen unterliegt es keinem Zweifel, dass auch an Binnenseen Fjorde erscheinen können. Von den schottischen Seen (s. o.) ist das bekannt genug, und für die nordamerikanischen hat es Ratzel [139] nachgewiesen. Aus den gewöhnlichen Karten ist der Sachverhalt freilich nicht herauszulesen; wenn man sich aber an die Spezialdarstellungen der „Survey of the Northern and North-Western Lakes" hält, so tritt der Charakter der Fjordregion auch für manchen kleineren See unschwer zu Tage. Zumal im Staate New York ergeben sich Landschaftsbilder, welche mit denen der Küste von Maine, deren Fjorde Remmers [140] näher untersucht hat, vielfach übereinstimmen. Ratzel betont als ein zuverlässiges Merkmal der Fjordlandschaft den Umstand, dass auf den zahlreichen Felsinseln selbst wieder kleine Seen auftreten; im übrigen unterscheidet er die an einem Ende geschlossenen Fjordbuchten oder Fjordschluchten von den beiderseits offenen Fjordstrassen. Auch gibt er [141] einige allgemeine Regeln zur Beurteilung des Charakters einer wirklichen Fjordregion, denen auch von Dinse [142] eine mehrfach sich bethätigende, wenn schon nicht ganz allgemeine Richtigkeit zuerkannt wird. Teilweise mit Rücksicht auf Pencks [143] Einwand, dass flacher gewelltes und steiles Gebirgsland eine verschiedene Fjordentwickelung bedinge, kommt Dinse zu dem Schlusse, es müsse Ratzels These, dass alle Fjordgebiete durch das Vorherrschen paralleler Richtungen einheitlich verbunden seien, als völlig berechtigt gelten, wenn man auch die Beschränkung hinzufüge, dass der Parallelismus in flacheren Fjordgebieten der Küstenzone deutlicher als bei den ungemein stark verästelten, mit Wasser gefüllten Hohlräumen hervortrete; auch sei es wahr, dass geringe Breite aller Einschnitte und Sunde zur Kennzeichnung einer Fjordregion diene. Die grosse Tiefe der Fjorde wird von Ratzel [144] ebenfalls hervorgehoben, und auch hierin liegt eine wichtige Thatsache, sobald man das Fjordinnere mit den angrenzenden Meeresteilen vergleicht; Dinse stellt nämlich auf Grund einlässlicher Prüfung von Tiefenkarten den Satz auf [145]: Allen Fjordgebieten liegt ein seichtes Meer vor, dessen geringe Tiefen zu den bedeutenden Einsenkungen der eigentlichen Fjorde in ausgesprochenem Gegensatze stehen. So verhält es sich stets, wogegen Peschels Ansicht [146], der Fjord müsse von einer flachen Bodenschwelle an seinem Eingange gegen den Hintergrund zu an Tiefe zunehmen, mit jenem Satze zwar wohl verträglich sein kann, es aber nicht notwendig zu sein braucht. Eine exakte Profilzeichnung der Tiefenverhältnisse eines Fjords ist schwer durchzuführen, doch konnten auf anderem Wege, durch Zusammenstellung in Tabellen, einige Anhaltspunkte morphographischer Natur gewonnen werden [147]. Länge und Breite stehen in keinem wechselseitigen Abhängigkeitsverhältnis; die längsten Fjorde pflegen auch die tiefsten zu sein (l Länge in Kilometern, t grösste Tiefe in Metern; Sogne-Ardals-Fjord $l = 187$, $t = 1242$; Hardanger-Fjord $l = 156$, $t = 800$; Nord-Fjord $l = 120$, $t = 564$; Grönländischer Knight-Inlet $l = 144$, $t = 231$). Doch kann man sich nicht darauf verlassen, dass diese Beziehung immer gewahrt bleibe. Einheitlich-regelmässige Beckenform ist eine Ausnahme; vielmehr lassen sich in den allermeisten Fjorden sekundäre, durch Bodenerhebungen geschiedene Becken nachweisen. Grössere Fjorde sind, der namhaften Maximaltiefe zum Trotze, doch thatsächlich nur flache Hohlformen, so steil auch aus ihnen die Felswände vielfach ansteigen. Trogform ist die Regel; der eigentliche Fjordboden ist nur wenig geneigt, so dass also hier ein ähnliches Verhältnis obwaltet, wie es Heim [148] für die auch anscheinend mauergleich in unergründliche Tiefe abfallenden Gebirgswände des Urner Sees darthun konnte. Für die theoretische Erforschung der die Fjordbildung bedingenden Ursachen ist es von Wichtigkeit [149], dass sich die meisten Fjorde, statt mit dem Ende der Wasserbedeckung selber ihren Abschluss zu finden, in trockenen Gebirgsthälern fortsetzen. Darum stellt E. Richter [150] die sogenannten Sackthäler mit den Fjordthälern Norwegens ganz in die gleiche Kategorie.

Der Ausfüllung unterliegen Fjorde gar nicht selten. Zumal in Schottland, und teilweise auch in Irland, kann man von manchem Binnensee (Freshwater-Loch) selbst schon aufs Kartenbild hin behaupten, sie seien früher einmal Fjorde gewesen und durch Zuschüttung der seichteren Verbindungsschwellen der Verbindung

mit dem Meere beraubt worden. Loch Ness z. B. weist mit seinem Nordostende auf den Firth (S. 591) of Inverness, mit seinem Südwestende auf den Firth of Lorn hin. Aber auch die Seen von Perthshire müssen nach Wilson [151] als frühere Fjordbestandteile angesprochen werden.

Die Einzelergebnisse, zu denen er durch Betrachtung einer möglichst grossen Anzahl geographischer Individuen gelangt ist, legt Dinse in der folgenden, thunlichst alle Kennzeichen zusammenfassenden Definition nieder [152]: „Fjorde sind in der Regel gewundene, steile und tiefe Buchten und Meeresstrassen an gebirgigen Festlands- oder Inselküsten, die im Querschnitt eine Trogform, im Längsschnitt eine zwischen sanften Wölbungen und seichten Mulden unruhig wechselndes Bodenrelief aufweisen." An der Hand dieser Festsetzung werden dann die gelegentlich als Fjordküsten angesprochenen Festlandsufer durchmustert, und dabei musste mancher Spezialfall ausgeschieden werden, der nicht in allen Teilen entsprach; selbst Maine (s. o.) würde vielleicht durch eine strenge Kritik ausgeschlossen werden müssen. In unserer obigen Aufzählung ist auf diese Auslese bereits Rücksicht genommen worden, so dass wir uns

Fig. 122.



jetzt mit der Erklärung begnügen dürfen: Die vielfältigsten Uebergänge verbinden die ächte Fjordküste mit den in §. 1 gekennzeichneten Typen der Schären- und Riasküsten, welch letztere aber daran in ihrer Eigenart zu erkennen sind, dass sie die Transversalküsten bevorzugen, während Fjorde und Firths nur an Longitudinalküsten zu kräftiger Entfaltung kommen können.

Wenn wir uns alles dessen erinnern, was über die Fjordregionen gesagt wurde, so müssen wir schon a priori den Schluss ziehen, dass so ausgedehnte Küstenzerklüftung von hohem pittoreskem Reize sein müsse. Diese Vermutung wird auch durch die Beobachtung vollauf bestätigt. Vor allem tritt der Umstand massgebend hervor, dass auf kleinstem Raume ein überaus lebhafter Wechsel der Ansichten stattfindet. Schätzt man, wie Oppel angibt [153], die Küstenlänge Norwegens, nach der Fahrt eines Küstendampfers gemessen, auf 2700 km, so steht dieser nicht sehr grossen Zahl eine wirkliche Länge von 7500 km gegenüber, welche dadurch erhalten wird, dass man den Uferlinien der einzelnen Fjorde folgt. Der malerisch schönste soll der Hardanger-Fjord (s. o.) sein; am tiefsten schneidet der Sogne-Fjord ein, der in Fig. 122 abgebildet ist, so dass die fingerförmigen Verzweigungen ins Binnenland hinein bequem überblickt werden können. Eine noch verzweigtere Küstengliederung scheint nach Rogers Spezialkarte [154] die Magalhaës-Strasse mit ihren Umgebungen darzubieten. „Es ist wahrhaft überraschend," sagt Darwin [155], „auf einem Raume von 20 Meilen einen derartigen Wechsel in der Landschaft zu finden." Auch von den baltischen Åland-Inseln, die als Labyrinthe von Schären, Holmen (kleinen Inseln), Vorgebirgen und Sunden erscheinen, lässt sich dasselbe aussagen; alle diese Fjordbildungen,

die sich vorzugsweise an der Ostseite anhäufen, bringt A. Weis [156] mit der gegenüberliegenden finnischen Küste in ursächliche Verbindung. Hier wie dort haben dieselben Kräfte zersplitternd, zerklüftend gewirkt.

Theoretische Reflexionen über die Entstehung der Fjorde sind in reichster Fülle in der Litteratur verlautbart worden, ohne dass jedoch die Erörterung der Frage bereits zu einem ganz befriedigenden Abschlusse geführt hätte. Danas (s. o.) ältere Identifizierung der Fjorde mit untergetauchten Thälern, über die sich auch Ratzel verbreitet [157], scheint weniger zu stimmen, wenn eine Küste, wie diejenige Skandinaviens, sich in erklärter kontinentaler Strandverschiebungsbewegung befindet, während zugleich die Meereseinschnitte ganz und gar das Wesen sehr junger Bildungen an sich tragen. Auf die dalmatischen Pseudofjorde, so könnte man sagen, passt ja, darin hat Suess [158] unbedingt recht, diese Erklärung ganz gut, aber nicht ohne Absicht wurde eben auch in der genetischen Küstentafel des §. 1 der dalmatische Typus dem norwegischen gegenübergestellt. Allein der oben erwähnte Umstand, dass als Fjord, als Meeresbucht, fast durchweg nur ein Teil des ganzen Hohlraumes erscheint, während die obere Partie von einem gewöhnlichen Thale sich gar nicht unterscheiden lässt, zwingt uns doch die Annahme auf, dass wir zwischen Thal und Fjord keinerlei prinzipiellen Unterschied statuieren dürfen. Dies ist auch die Ansicht Pencks [159]. Wenn somit die Fjordbildung abgehandelt wird, so ist dieselbe nur als ein Teilkapitel der Lehre von der Thalbildung aufzufassen. — Auf Spaltung sucht Leipoldt [160], eine ältere Beobachtung v. Buchs [161] verwertend und die vorsichtiger gehaltenen Aeusserungen Peschels [162] bestimmter deutend, die Entstehung der tiefen Buchten zurückzuführen; er nimmt an, dass die Zertrümmerung und Zersplitterung der Küste mit ihrem Aufsteigen verknüpft war. Unter den norwegischen Geologen, die sich mit den Fjorden als mit einem Lieblingsthema beschäftigen, steht als Hauptvertreter der Lehre, dass Spaltenbildung die thatsächliche Reliefbildung der Erdoberfläche in erster Linie bedinge, Kjerulf obenan [163]. An diesem Orte kann, da uns Abt. VIII, Kap. V doch noch überreiche Gelegenheit zur Erörterung allgemein-morphologischer Fragen geben wird, von dieser Abstand genommen werden; uns kommt es wesentlich nur auf die Klärung der Anschauungen darüber an, ob Erosions- und glaziale Erscheinungen für eine sachgemässe Behandlung des Fjordproblemes den Schlüssel zu liefern vermögen.

Es war Danas (s. o.) Verdienst, auch der theoretischen Untersuchung der von ihm morphographisch zuerst richtig gewürdigten Thatsachen die Wege gewiesen zu haben, welche schliesslich zum Ziele führen werden. Sind die Fjordschluchten durch rinnendes Wasser oder durch langsam sich fortbewegendes Eis ausgehöhlt worden? Ob dem Eise ein solches Vermögen wirklich zuzuschreiben sei, können wir jetzt noch nicht beurteilen, da hierzu erst durch Abt. VIII, Kap. III die Möglichkeit gegeben werden wird; wir stellen lediglich fest, dass die glaziale Erosion (glacies, Eis) von hervorragenden Forschern für ein sehr gewichtiges Agens gehalten wird, während von anderer Seite allerdings diesem Faktor ein weit geringerer Machtbereich zugewiesen wird. Ramsay [164] und Helland [165] sprachen sich dahin aus, dass die gewaltigen Eismassen der Diluvialperiode (S. 341) hauptsächlich die Ausfurchung der später teilweise unter Wasser gesetzten Fjordthäler bewirkt hätten, wenn zuvor durch tektonische Kräfte die Richtung der nur weiter auszuarbeitenden Höhlung bestimmt worden sei. Ramsay hielt sich dabei an die Deutung, welche De Mortillet [166], dem auch Peschel [167] beipflichtete, den oberitalienischen Seen erteilt hatte;

diese sollten Fjorde eines einstmaligen lombardischen Randmeeres sein. Am radikalsten handhabte Tyndall [168] die Auspflügungstheorie, indem er von den diluvialen Gletschern die Ueberwindung aller und jeder Bodenhindernisse erwartete. In neuerer Zeit ist man sehr weit von solchen Uebertreibungen zurückgekommen, indem man die Erosionsthätigkeit der Gletscher, selbst wenn dieselben als Binneneismassen auftreten, für die Detailabnützung des Untergrundes zugestand, die eigentliche Thalbildung aber mit anderen Naturkräften in Verbindung brachte. Wir verweisen auf die kritische Darstellung der einschlägigen Lehren bei A. Müller [169] und Penck [170]; obwohl der letztere gewiss nicht zu Denen gehört, welche allzu gering von der morphologischen Bedeutung bewegten Eises denken, so sah er sich doch früher schon zu dem einschränkenden Ausspruche veranlasst [171]: „Die Fjorde gelten uns in ihrer Allgemeinheit nicht auschliesslich als die Produkte glazialer Wirkungen. Nur teilweise sind sie es, und an der Ausbildung der vielfach verzweigten Fjorde gebirgiger Küsten haben Wasser und Eis vereint gearbeitet." Die Neuzeit ist insofern noch weiter gegangen, als sie die direkte Mitwirkung des Eises noch mehr in den Hintergrund treten liess. Ein besonders gründlicher Kenner der grönländischen Fjordbildungen lässt sich dazu, wie folgt, vernehmen [172]: „Seit Tyndalls weitgehende Anschauungen über den erodierenden Einfluss der Gletscher bei der Bildung der Thäler gefallen sind, und selbst die extremsten Vertreter der Gletschererosion dieser bei der Bildung der Thäler und Seen mehr einen nachhelfenden, ausgestaltenden Einfluss, als die ursprüngliche Anlage, zuschreiben, sind auch über die Mitwirkung der Gletscher bei der Entstehung der Fjorde die Ansichten gemässigtere geworden." Die allgemeine Ueberzeugung geht dahin, dass allerdings ohne die von den Hochflächen des Binnenlandes ausstrahlenden Eiszungen die Fjorde von heute nicht so, wie wir sie kennen, vorhanden wären; allein nicht sowohl aktiv war die ihnen von der Natur übertragene Rolle, sondern passiv-konservierend. Einerseits schützte das sich den Bodenhöhlungen anschmiegende Eis dieselben vor der Ausfüllung durch Schuttmassen, und andererseits bot es auch von dem Augenblicke an, da die Thäler vom Meere überflutet zu werden anfingen, Schutz gegen die zahllosen zerstörenden Einflüsse des ruhenden und bewegten Meerwassers. So haben auch Kjerulf [173], dessen Meinungen uns durch Penck [174] zugänglich gemacht wurden, und Gurlt [175] die glaziale Leistung sich zurecht gelegt. Schliffspuren, wie sie das jetzt trockene Fjordthal v. Drygalskis erkennen lässt [176], bestätigen sowohl das dereinstige Vorhandensein des Eisstromes, welcher das Thal der Länge nach durchzog, als auch die Art und Weise, wie dieser Strom auf den Felsboden einwirkte, und dass die oberflächliche Abnützung im Laufe ungeheurer Zeiträume durch Summierung namhafte Beträge erreichen kann [177], wird sich ebenfalls nicht leugnen lassen. Durch seine Beobachtungen in Norwegen, vorab in Jotunheim, auf dessen Eigentümlichkeiten sich auch besonders die Studien Oyens [178] beziehen, wurde E. Richter [179] zu der Erkenntnis geführt: Vergletscherung und Meeresüberflutung reichen zur Erklärung aller Eigenschaften der Fjorde aus; Fjordstrassen und Scherenkomplexe hat man sich zu denken als Ergebnis der Durchkreuzung und Verschmelzung von Thalsystemen, welche ursprünglich nichts miteinander zu thun hatten. Die Vergletscherung war aber noch in einer anderen Hinsicht bestimmend für das Zustandekommen der heutigen Fjorde; denn sie lieferte, sobald ihr Ende herannahte, das fliessende Wasser, welches die tiefere Ausmodellierung der bereits vorhandenen Thalzüge hauptsächlich besorgte. Wie Richter, so wies auch bereits Geikie [180] nachdrücklich hin auf die mächtige Einwirkung des mit starkem Gefälle abwärts strömenden Wassers, die sich insbesondere damals bekunden musste, als das Land noch weit höher stand. Wir möchten auf eine merkwürdige Analogie aufmerksam machen: Die Fjorde sind dieselben Bildungen, die wir im Alpenvorlande als Trockenthäler kennen. Ueber letztere — Gleissenthal und Teufelsgraben sind in der Umgegend Münchens sehr bekannt — bemerkt v. Ammon [181]: „Sie sind dadurch entstanden, dass sie den Schmelzwässern, die von den Gletschern bei ihrem Rückzuge abflossen, einen Ausgang boten; seit jener Zeit sind ihre Betten trocken gelegt." Die Erklärungen Pencks [182] und C. Grubers [183] bewegen sich in gleichem Gleise.

Vielleicht fällt es auf, dass der „sägenden Tendenz der Brandungswoge", wie sich Rütimeyer [184] ausdrückt, bisher keine ausdrückliche Erwähnung geschah. Es ist wahr, dass jener berühmte Naturforscher seine bretagnischen Fjorde (S. 605) ganz und gar als von der Abrasion erzeugt hinstellte, und an sich ist

gewiss auch nichts dagegen zu erinnern, dass er die Wellengewalt, über deren Bedeutung für die atlantische Küste Frankreichs wir uns ja schon früher (Kap. I, §. 1) unterrichteten, für einen sehr einflussreichen Faktor erklärt. Es lässt sich nur, wenn Umlauft [185] von einer neuen Theorie der Fjordbildung spricht, die entscheidende Gegenbemerkung machen (S. 605), dass die Bretagne eigentlicher Fjorde gänzlich entbehrt. Es ist dann Rittau [186] mit der Nachricht hervorgetreten, dass die gleiche Auffassung der Fjordentstehung auch durch J. Reins Marburger Vorlesungen in weitere Kreise getragen worden sei, und zwar mit dem Zusatze, dass die Erosion der Brandung und der Gezeiten (S. 611) am heftigsten den krystallinischen Gesteinen zusetze, wie denn auch Vogt [187] dafür hielt, dass im Bereiche vulkanischen Massengesteines (I, S. 391) besonders häufig tief eindringende Fjorde zu finden seien. Dem gegenüber können wir uns darauf berufen, dass die Brandungswelle, wie oben schon hervorgehoben ward (S. 604), unmöglich so tiefe Einschnitte ausfurchen kann, ohne zugleich die Wände der ausgehobelten Bucht erheblich in Mitleidenschaft zu ziehen. Die Physiognomik der Fjordküste ist von derjenigen einer Abrasionsküste grundverschieden.

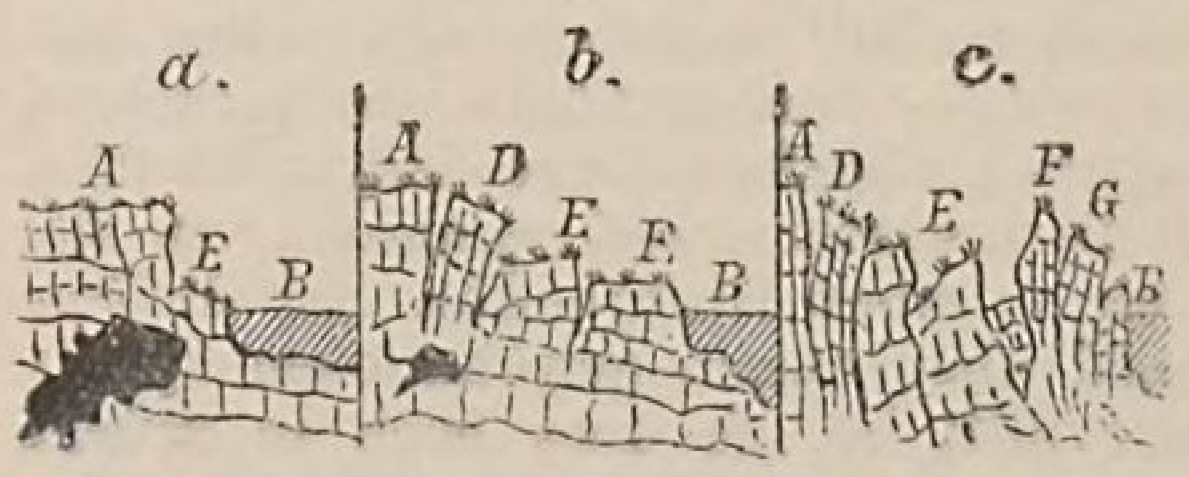
Wohl aber scheint, je tiefer man in der Analyse der konkurrierenden Wirkungen fortschreitet, das geotektonische Moment (tectum, Dach; tektonisch so viel als: auf die Gleichgewichtsbedingungen des Erddaches, der Erdkruste bezüglich) mehr und mehr in den Vordergrund gerückt zu werden. Sprünge und Bruchlinien der Rinde weisen, wie Brögger [188] an einem besonders ausgezeichneten Falle zeigen konnte, den Eisströmen und nachher dem Wasser den Weg, durch dessen Beschreitung die Ausfurchung eines zum Küstenverlaufe annähernd senkrecht stehenden Thaleinschnittes herbeigeführt wird. Im gleichen Sinne wurden die auf ein ungewöhnlich feines Detailstudium begründeten Grönlandforschungen v. Drygalskis bedeutsam. Die grossartigen Klüfte im Felsengerüste Grönlands, die einen gewissen Parallelismus erkennen lassen [189], stehen mit den Fjorden höchst wahrscheinlich in innigem Zusammenhange, und die Zweifel, dass solch tiefe Klammen mit Steilrändern einen erosiven Ursprung haben sollen, erscheinen vollkommen gerechtfertigt [190]. — Die von Peschel aufgeworfene Frage nach der klimatischen Bedingtheit des geographischen Vorkommens der Fjorde erlaubt kaum eine definitive Beantwortung. Aus der Karte schien ihm zu folgen [191], dass erstens solche Küstenformen nur unter hohen Breiten auftreten, so dass sie nicht mehr äquatorwärts von der Jahresisotherme von 10° angetroffen würden, und dass sie zweitens an die Polargrenze der subtropischen Winterregen gebunden sind; wo Niederschläge nur dürftig erfolgten, wie z. B. in den Archipelen der nordwestlichen Durchfahrt (S. 552), sei auch nicht von vielen Fjorden die Rede. Wenn auch letzteres nicht durchweg stimmt, da auch das fjordreiche nordwestliche Grönland nach Hann [192] zu den niederschlagsarmen Territorien gehört, so kann man doch Peschels vergleichend-klimatologische Studien, denen auch ein Kritiker von der Strenge P. Lehmanns [193] die Achtung nicht versagt, insofern gelten lassen, als aus ihnen erhellt: Die Bildung von Fjordküsten wird durch regelmässige atmosphärische Befeuchtung begünstigt. Dieselbe trägt eben dazu bei, das Gestein zu zermürben und für die erosive Arbeit anderer Faktoren zuzubereiten. Steffen, der auch über die Fjordbildungen in der Gegend von Puerto Montt (S. 605) bemerkenswerte Daten ermittelt hat, betont [194] den grossen Einfluss, welchen die ungewöhnlich energische Versorgung der Küstenregion mit meteorischem Wasser auf die Kohäsion der aus altkrystallinischen Gesteinen sich zusammensetzenden Gebirge ausübt. Bergstürze („deerumbes") arbeiten an der Einreissung der Berghänge, und der Granit zerfällt in Blöcke und Grus, mit dem Küsteninseln und Uferlandschaft bedeckt sind. — Auch auf die Eisentwickelung hat natürlich die grössere oder geringere Menge der Niederschläge einigen Einfluss. Zu einer Zeit, da die Binneneismassen überall an das Meer selbst heranreichten, war der von Rink [195] charakterisierte Gegensatz zwischen Eisfjorden und Strömfjorden nicht vorhanden. Die letzteren sind eben unsere gewöhnlichen Fjorde, während der Eisfjord ganz und gar von Eis erfüllt ist, so dass noch in seinem Inneren die früher (S. 534) besprochene Abtrennung der Eisberge stattfindet. Das eigentliche Vaterland der Eisfjorde, deren Mündung schmal ist, und deren Boden verhältnismässig steil gegen das ebenfalls ziemlich tiefe Meer abfällt, ist Grönland; doch hat sie v. Nordenskiöld auch auf Spitzbergen gefunden [196], wenn schon in minder grossartiger und minder typischer Ausprägung.

Wir glauben nunmehr so weit zu sein, dass wir unser augenblickliches Wissen von der Entstehung der Fjorde, deren strenge morphologische Trennung von anderen Einbuchtungen der Felsküste wir aufrecht erhalten, in kurzen Worten zusammenfassen können. Die als Fjorde bezeichneten, nur in beschränkten Gebieten beider Halbkugeln von polarem oder subpolarem Charakter auftretenden Meeresbuchten sind, wie zumal ihr erkennbarer Zusammenhang mit eigentlichen Thälern beweist, tektonisch, durch gewisse Kontinuitätsunterbrechungen innerhalb der Erdrinde, präformiert gewesen; darauf wurden sie durch Eis grossenteils ausgefüllt und so vor Zuschüttung wie Zerstörung bewahrt, während zuletzt, als das Eis zu weichen begann, fliessendes Wasser die schon von den Gletschern eingeleitete Ausfurchung des langgestreckten Troges vollendete. Maritime Strandverschiebung hat endlich diese Hohlformen teilweise unter Wasser gesetzt, so dass sie jetzt als Meeresanhängsel erscheinen, was sie ursprünglich, wenigstens grossenteils, nicht gewesen sind. Was an eingehender Begründung dieser Sätze noch vermisst werden mag, wird die Lehre von der Thalbildung, von der ja die Theorie der Fjordbildung doch nur einen Unterfall darstellt, zu ergänzen verpflichtet sein.

§. 5. **Die Flachküste unter der Einwirkung der Meeresbewegungen.** Seine dämonisch verheerende Gewalt verleugnet das Meer auch dann nicht, wenn es an eine Flachküste grenzt, obwohl die Formen, unter denen seine Kraftäusserungen in die Erscheinung treten, mehrfach andere werden. Auch lässt sich die landbildende Aktion der Wogen in diesem Falle leichter überblicken. Eine gründliche Darlegung der Veränderungen, welche die Flachküste unter dem Einflusse des Meeres erfährt, besitzt man von Weule [197], während vorher fast nur die Engländer, an ihrer Spitze Prestwich [198], sich mit dieser Küstenform beschäftigt hatten [199]. Ehe wir übrigens die Flachküste im eigentlichen Wortsinne in Angriff nehmen, wollen wir noch einige Worte sagen über jene Zwischenform, welche zwar mit stärkerem Neigungswinkel aus dem Wasser aufragt, dabei aber nur aus leicht zerstörbaren Stoffen besteht und keine sehr beträchtliche Höhe erreicht.

Dahin gehört vor allem die südrussische Steppenküste, und die Art, wie ihr das Meer durch Unterspülung Terrain abgewinnt, ist vorbildlich für alle verwandten Vorkommnisse. In Fig. 123 sehen wir das — zuerst von Kohl [200] gezeichnete — Bild der Zerklüftung (russisch „Obruive“ = Abriss) vor uns. Bei a ist der Zerstörungsprozess eben eingeleitet, indem von der — stellenweise 30 bis 40 m über das Niveau sich erhebenden — Steppe A durch Auslaugung eines Hohlraumes, der durch schwarze Färbung sichtbar gemacht ist, ein Stück E abgetrennt wurde, welches jetzt dem Meere B entgegensinkt. Die Fortsetzung zeigt sich in b; von A ist noch ein ziemliches Stück intakt, aber die Erdpfeiler D, E, F haben sich losgelöst und stehen in ziemlich unsicherem Gleichgewichte da, während die Höhle jetzt durch den Zusammenschub bedeutend verkleinert erscheint. Durch c endlich wird eine wirkliche Obruive veranschaulicht,

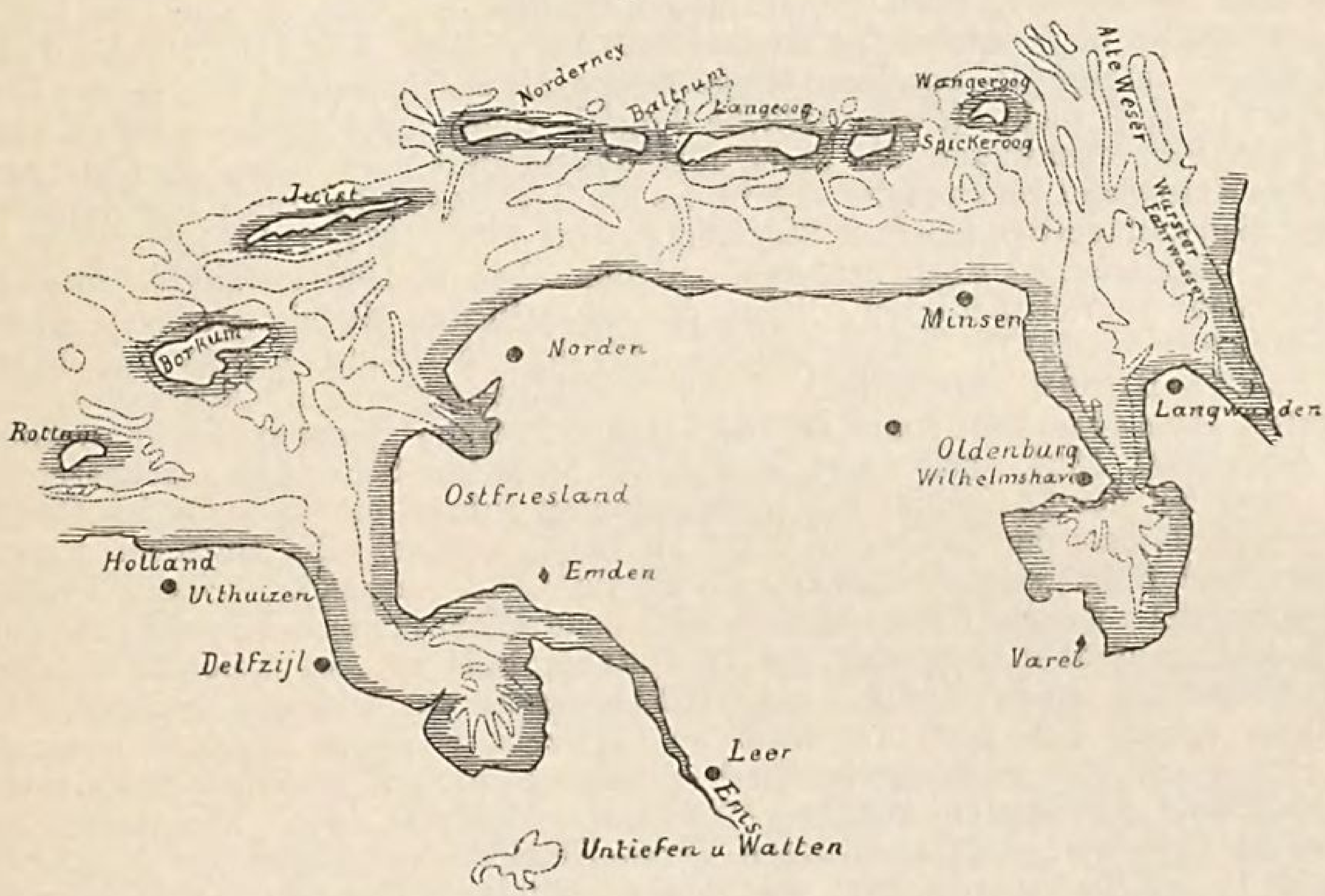
Fig. 123.



wie solche die Gartenkünstler Odessas zur Entfaltung ihrer Technik benützen; die ausgewaschene Höhle ist verschwunden, und in malerischem Durcheinander ragen die Trümmer A, D, E, F, G der alten Steppe aus dem Meere B empor.

Auch an der Ostsee hat man mit solchen Ereignissen zu rechnen, die Ackermann [201] im einzelnen aufführt. Ein Stück der Küste wird weggewaschen; Felsen und Bäume stürzen ins Meer, wo sich dann Untiefen, die sogenannten Steingründe und Baumstubben, bilden; ein berüchtigtes Steinriff hat sich so z. B. an der Nordostküste der Insel Usedom gebildet, von der Sage hartnäckig mit der angeblich versunkenen Wendenstadt Vineta in Verbindung gebracht [202], obschon letztere in Wahrheit auf Wollin lag [203]. Flache Eilande fallen dem Wellenschlage immer zum Opfer, wenn nicht die Strömungen für Landersatz sorgen; so ist z. B. die „Sandinsel“, 50 km östlich von der Küste Neu-Schottlands gelegen, in 200 Jahren, falls anders die alten Karten ganz zuverlässig sind, der Hälfte ihres

Fig. 124.



Areales beraubt worden [204]. Doch sind dies alles nur kleine Veränderungen, während es auch an grösseren, tief einschneidenden nicht fehlt.

Die Bewohner des arg heimgesuchten friesischen Strandes bezeichnen die zerstörende Thätigkeit des Meeres als das Saugen der See, und in der That ist es auch (S. 445) die Widersee oder der Sog, der die eigentliche Denudation bewirkt, d. h. die durch den Wellenstoss losgelösten Festlandbestandteile dem Meere zuführt. Die Gezeitenströmungen sind ein zwar sekundär, aber doch auch unter Umständen recht energisch wirkender Faktor; sie bilden durch Ausschürfung des Bodens Tiefstellen von unerwarteter Grösse — Gezeitenkolke nach Krümmel [205], — von denen wir schon früher (S. 408) ein paar Einzelfälle zu nennen hatten; ihnen sind hauptsächlich die eigentümlichen Rinnen zu danken, welche die Wattenmeere vor der deutschen Nordseeküste durchziehen und in unserem diese Gegenden darstellenden Kärtchen (Fig. 124) sich deutlich abzeichnen. Wenn Oppel [206] von den Flachküsten im südlichen Guinea berichtet, dieselben seien von einem Netzwerke kleiner Kanäle durchzogen, durch welche das bisherige Festland mehr und mehr in ein Aggregat von Inselchen zerlegt werde, so sind für diese Landzerreissung gewiss auch vorwiegend die Gezeitenströme verantwortlich zu machen.

An der Nord- und Ostseeküste hat man stets die beste Gelegenheit zu Studien über den für ersteres meist siegreich gewesenen Kampf zwischen Meer und Flachküste gehabt. Für die Nordseeufer gibt eine Schrift von Eilker [207] vieles Material, während speziell die schleswig-holsteinischen Inseln von Francke [208], Weigelt [209] und von Träger — in dessen oben (S. 592) citierter Schrift über

die Halligen — nach dieser Seite hin behandelt wurden. Die holländische Zuyder-See, über deren geschichtliche Erlebnisse uns Blink ausführlich belehrt, hatte damals, als hierher die römischen Schriftsteller einen grossen Binnensee Flevo verlegten [210], gewiss nicht die Gestalt von heute, sondern kommunizierte höchstens durch schmale Zugänge mit dem Meere, und manche Zeichen ehemaliger Bewohntheit deuten an [211], dass einst da Land war, wo jetzt Wasser sich ausbreitet. Wann der Einbruch erfolgte, der wahrscheinlich durch die Ueberfüllung des Sees durch die in ihn mündenden Flüsse unterstützt ward, lässt sich nicht genau bestimmen. Vielleicht damals, als die kimbrische Flut wütete, die nach der Meinung antiker Autoren die Kimbern und Teutonen aus ihrem Lande vertrieb; Berger [212] macht hierüber seine Angaben und erwähnt besonders, dass Posidonius die Thatsache selbst nicht für unmöglich erklärte; nur könne man an keine gewöhnliche Gezeitensturmflut denken, denn mit solchen Ereignissen seien wohl die Nordgermanen vertraut genug gewesen. Für Holland war unter den späteren Flutkatastrophen die des 18. und 19. November 1421 die unheilvollste [213], denn von ihr sollen 72 Dörfer verschlungen worden sein, und da dort, wo sich ein etwa 43000 ha umfassender fruchtbarer Teil der „Groote Zuid-Hollandsche Waard" ausbreitete, infolge der unseligen Bürgerkriege der Deichunterhaltung — wie Blink bemerkt [214] — nicht die erforderliche Sorgfalt zugewendet worden war, so konnte an jenen Schreckenstagen das Meer fast ungehindert eindringen, und ein ausgedehntes Kulturland verwandelte sich in das als Biesbosch bekannte Inselgewirre. — Ueber die geschichtlich fixierten Sturmfluten, die 1170, 1277, 1511, 1570, 1717, 1825 an der ostfriesischen Küste wüteten und den oben (S. 592) erwähnten Inselkranz immer mehr vervollständigten, liegen die urkundlichen Mitteilungen von Arends und Dekker vor [215]. Wahrscheinlich 1277 ist die Dollart-Bay und 1511 ist der Jahde-Busen entstanden. — Die Verkleinerung der schleswigschen Küste gestattet Hansens [216] mustergültig exakte Prüfung genauer zu kontrollieren. Die Jahre 1300, 1354, 1362 waren hier durch besondere Schrecknisse ausgezeichnet, und zwar fiel der 16. Januar des letztgenannten Jahres um so mehr ins Gewicht, da gerade damals der „schwarze Tod" im Lande wütete. Die Marschen zwischen Husum und Eider wurden damals, soweit sie nicht versanken, totaler Verödung überantwortet, da die Ueberlebenden sich neue Wohnsitze landeinwärts erbauten. Noch schlimmer aber liess sich der 11. Oktober 1634 an, an welchem Eiderstedt und Umgebung einen Verlust ven 2107 Menschen zu beklagen hatten. — Die Halligen setzen sich jetzt nur noch aus dreizehn winzigen Eilanden zusammen, von denen nur vier noch eigene Kirchen tragen; nur auf künstlich geschichteten, durch Pfähle verfestigten Anhöhen (Warfen = Werften) dauert die tapfere nordfriesische Bewohnerschaft aus, deren Verzweiflungskampf gegen die Wogen Jensen [217] und Träger (S. 592) anschaulich schildern. Letzterer gibt auch [218] im Einverständnis mit dem berühmten Wasserbaumeister Franzius, die Mittel an, deren Anwendung der arg bedrohten Inselgruppe allein Rettung zu bringen vermag, und es ist auch bereits durch die preussische Regierung der Anfang gemacht worden, den Insulanern zu Hilfe zu kommen. Einige Angaben hierüber hat Träger [219] bei späterer Gelegenheit gemacht.

Die Boddenküste (S. 592) Vorpommerns erzählt gleichfalls viel von gewaltsamen Meereseinbrüchen. Vorab Rügen redet eine beredte Sprache, wenn man dieselbe so zu deuten versteht, wie dies in der Insel-Monographie R. Credners [220] geschehen ist. Dieselbe ist derart von tief sich eindrängenden Buchten durchsetzt, dass sie sich dem aus der Vogelperspektive auf sie blickenden Auge nur als ein Aggregat „hügelig-bergiger Einzeleilande" darstellen würde, und wirklich würde eine ganz geringe positive Strandverschiebung jenen Zustand herbeiführen [221]. Heutzutage ist der verheerenden Arbeit der Brandungswoge durch die von ihr selbst erbauten Terrassen und Flachlandstreifen eine Grenze gesetzt, und der Landverlust ist nach Credner [222] höchstens nur noch ein lokaler. — Selbstverständlich konnte sich die Meereserosion dann am freiesten entfalten, wenn sie sich mit tektonischen Prozessen (S. 609) zu vergesellschaften in der Lage war. So erklärt Deecke [223] die Küstenknickung, welche den Verlauf des baltischen Strandes zwischen Arkona und Kolberg so auffällig durch das Frische Haff unterbricht, in der Weise, dass zwei Faltenrichtungen sich hier unter stumpfem Winkel schnitten. — Während das westliche Pommern in prähistorischer und geschichtlicher Zeit durch harte Verluste betroffen ward, steht es im Osten anders, wie die Darlegungen Quandts [224] bezeugen, welche mehrfach Landzunahme in Hinterpommern ausser Zweifel setzen.

Absichtlich verweilten wir bei den deutschen Küsten länger, um die Landzerstörungen an einem für uns besonders wichtigen Beispiele zu kennzeichnen. Natürlich liessen sich die Belege ungemein vervielfältigen. Frankreichs Geschicke in dieser Hinsicht hat J. Girard [225], diejenigen Englands hat Peacock [226] spezialistisch geschildert, indem letzterer namentlich bewies, dass York- und Lincolnshire im Laufe der Jahrhunderte arg vom Meere mitgenommen wurden.

Unsere Uebersicht über thatsächlich stattgehabte Küstenmetamorphosen gestattet die Gewinnung einiger allgemeingültiger Gesichtspunkte. Vor allem müssen wir mit Weule [227] und Th. Fischer [228] folgendes anerkennen: Der Meereseingriff schafft Bogenformen, und zwar kommt diesen litoralen Bogenlinien bei steilen Küsten mehr ein kleiner, bei flachen Küsten mehr ein grosser Radius zu. Die Schwemmlandküste — und dies ist zwar nicht die Norm, aber doch ein sehr häufig vorkommender Spezialfall der Flachküste — neigt mehr zu glatten und regelmässigen Formen, während hohe Küsten viel häufiger Unterbrechungen in der Stetigkeit des Verlaufes aufweisen. Eine besonders glatte, einförmige Küste zeichnet den Osten der Halbinsel Florida aus [229]. Will man mit Güttner [230] die Bedingungen aufsuchen, welche eine Schwemmlandküste erzeugen helfen, so kann man an den Einfluss einer regelrechten atmosphärischen Befeuchtung und an die unterstützende Thätigkeit der mit der See sich verbindenden Flüsse erinnern, wozu noch als ein sehr wesentliches Element die still schaffende Alluvialaktion der — besonders von Cialdi [231] auf diese ihre Eigenschaft geprüften — Küstenströmungen kommen. Damit sind wir von der sozusagen negativen Meeresarbeit zu dessen positiven, landbildenden Leistungen gelangt, die wir nun, gerade wie bei den Steilküsten, in ihren verschiedenen Bethätigungsformen kennen lernen wollen.

Dass auch an solchen Küsten das Meer Strandwälle aufrichtet (S. 601), wenn ihm irgend woher die Materialien dazu geliefert werden, versteht sich von selbst. Pechuel-Lösche berichtet [232], dass die Kalema (S. 450) durch die Regelmässigkeit ihrer Strandbauten bekannt ist. Im grossen und ganzen führt aber das Meer nur fein verteilte Stoffe dem schon vorhandenen Strande zu, und insbesondere bauen auch, wenn sonst die Verhältnisse günstig liegen, die Gezeiten ganze Hügelreihen unter und neben dem Meeresspiegel auf; Mellard Reade spricht [233] der Flut deshalb eine selbständige morphologische Bedeutung zu. Da, wo ein Küstenstrom einen Landvorsprung trifft, muss sich natürlich der Absatz der Sinkstoffe mit besonderer Regelmässigkeit vollziehen. Um wieder einen recht sprechenden Beleg beizubringen, verweisen wir auf die Geschichte der Küstenlandschaften am Golf du Lion, über welche Th. Fischer [234] berichtet, indem er selbst wieder Lenthérics Studien [235] über die volkswirtschaftliche Benachteiligung der dortigen Handelsplätze herbeizieht. Der spätrömische Dichter Avienus erzählt uns noch [236] von einem inneren Meere, welches sich an der Westseite jenes Busens zwischen der eigentlichen Küste und einem vorgelagerten Inselkranze hingezogen habe; heute ist dieser grosse Strandsee (Lacus Rubesus) verschwunden, und die Eisenbahn zwischen Perpignan und Narbonne führt mitten durch das angeschwemmte Land hindurch. Die Landbildung schritt von beiden Seiten her gegen die Mitte fort; das Neuland setzt sich also, um Philippsons Ausdrücke [237] zu gebrauchen, aus einem inneren potamogenen (ποταμός, Fluss) und aus einem äusseren thalassogenen Streifen zusammen. Die Küstenströmung hat hier wesentlich eine nordwestliche Richtung und führt von der Rhônemündung her die Sedimente zu, welche die Lagune ausfüllten. — An den italienischen Küsten ist der nie rastende Kampf des Meeres mit den auf Ausfüllung hindrängenden Kräften bekannt genug, und der Mensch muss hier dem Meere hilfreich zur Seite stehen. Für Venedigs Seebedeutung, an sich schon nur noch einen traurigen Ueberrest der früher innegehabten, ist es entscheidend, ob es dauernd gelingen wird, durch Baggerungsarbeiten zu verhüten, dass sich nicht die

„Laguna viva", welche noch den grossen Pulsschlag des Meeres mitempfindet und an der Gezeitenbewegung teilnimmt, in die unabwendbarer Verschlämmung verfallende „Laguna morta" (vivo, lebendig; morto, tot) verwandle. Auch die Bezeichnung „Paludi Salse" und „Paludi Dolci" (Salz- und Süsswassersümpfe) bezieht sich auf diesen Gegensatz. Schon Strabon verbreitet sich über diese „Sumpfgegenden"; Ravenna, Altinon, Adria und Aquileja kennt er als mehr oder weniger „im Sumpfe stehende Städte" [238]. Durch Kovatsch [239] und Keller [240] sind wir über die hydrotechnischen Massnahmen, deren es zur Hintanhaltung der Morastbildung bedarf, unterrichtet worden; die ungeheure Massen von Feststoffen aus ihrer Alpenheimat mitbringenden Flüsse, zumal die Brenta, muss man durch Kunstbauten von den lebenden Lagunen ferne halten, und die Ausgänge („Porti") bedürfen steter Kontrolle, um sich nicht zu verstopfen. Trotz aller Mühwaltung ist jedoch der südliche Teil der venetianischen Lagune, die Gegend von Chioggia, ernstlich bedroht, und im Mündungsgebiete des Po bereitet der Reno, dessen launenhaftes Treiben in Abt. VIII, Kap. IV auf Grund der Angaben von St. Fischer [241] zu schildern sein wird, den Regulierungsarbeiten die grössten Schwierigkeiten. — An der tyrrhenischen Küste der Apenninischen Halbinsel sehen wir auch den sehr merkwürdigen Verlandungsprozess einer Insel sich vor unseren Augen vollziehen. Dies geschieht, wenn die Nehrungen (S. 592) sich so weit ausdehnen, dass sie mit einer vorliegenden Insel zu einem Ganzen verschmelzen. So war der Küste von Toskana ehedem die den Monte Argentario tragende Insel vorgelagert, aber heute hängt dieselbe durch zwei Landbrücken, die früher Lidos waren, mit dem Festlande zusammen, und aus der früheren Meerenge von Orbetello ist ein vollkommen abgeschnürter Strandsee geworden. Bei Peschel-Leipoldt [242] finden sich noch mehrere Fälle dieser Art besprochen; die Insel Santo Antioco bei Sardinien und die Insel Giens am Rade d'Hyères führt uns eine moderne Karte als Halbinseln vor, und zwar fehlt bei letzterem Beispiele nur noch ganz wenig, dass die Verbindung, gerade wie beim Monte Argentario, eine doppelte wird.

Sehr stark prädominiert vor dem potamogenen Landbildungsfaktor der thalassogene, wenn es sich um die Marschenbildung handelt, welche an unseren Nordseeküsten die Verkehrs- und Produktionsverhältnisse auf weite Strecken bestimmt. Die morphologischen Prozesse haben Forchhammer [243], Kohl [244] und Senft [245] uns kennen gelehrt; in der Hauptsache werden dieselben von der Natur ausgeführt, aber die Thätigkeit des Menschen kann, durch Aufführung von Dämmen und durch andere Mittel, hilfreich eingreifen. Ein eingedeichtes und dem Meere für immer entrissenes Stück Marschboden nennt der Niedersachse Koog, der Holländer Polder, indem dieser Name zugleich für das gesamte fruchtbare Land gebraucht wird, welches man dem Meere künstlich — durch Auspolderung — abgewonnen hat. Marschen können sich an Flüssen, Seen und Meeren bilden. Durch Wirbelbewegung und Stauung des andringenden Wassers, welches der Rückströmung begegnet, werden die mitgeführten Festkörper abgelagert. In den Uferbuchten beginnt die Absetzung; die Ränder werden zuerst ausgefüllt, und nur über tieferen Stellen halten sich einzelne Wassertümpel noch länger, bis auch sie der Austrocknung verfallen [246]. Die Marsch setzt sich immer aus Brackwasser- und Salzwassermarschen zusammen, aber diese letzteren wiegen, wie erwähnt, quantitativ vor; sie sind reines Meeressediment und deshalb auch mit Salz getränkt. Das Wattenmeer (S. 592) ist eine Uebergangsform zwischen echtem Meere und wasserhaltigem Marschboden. Aus den Watten pflegt zuerst da und dort ein festerer Fleck, der Blick, emporzusteigen, und wenn mehrere Blicke sich vereinigen, so entsteht der Blickboden, auf dessen üppigem Humus sich rasch Gewächse aller Art ansiedeln. Sobald er in eine Wiese verwandelt ist, bezeichnet ihn der Friese als Heller. Die Sommermarschbildung ist eine von der Wintermarschbildung einigermassen verschiedene; im übrigen unterscheidet man [247] dreierlei Hauptarten des Marschbodens: den Knick, einen gelbbraunen, knet- und formbaren Thon; den Klei, der aus Thon, Sand und kohlensaurem Kalk besteht; und den feinen Thonschlamm oder Schlick, welchem auch Quarzmehl und Humussäuren beigemengt sind. Weitere terminologische Mitteilungen macht, an Meyns geologische Spezialkarte Nordalbingiens sich haltend, v. Fritsch [248]. Vor die fruchtbare Marsch lagert sich zumeist die Vormarsch, ein Grünlandmoor (Abt. VIII, Kap. IV), das dann da, wo das Land anzusteigen beginnt, in Blachfeld — altes Alluvium — und Vorgeest übergeht; die Geest selbst endlich ist das unwirtlichere, mit Wald und spärlichen Feldern bedeckte

Heideland (Mergel, Lehm und Diluvialgerölle), welches den achsial verlaufenden Rücken Schleswig-Holsteins darstellt. Uebrigens gilt dies alles nur dann, wenn nicht Anhäufungen von Dünensand (s. u. in §. 6) die Reihenfolge unterbrechen. Die Rücksichten, welche man auf die verschiedenen Bodenformen der Kimbrischen Halbinsel bei deren Kartierung zu nehmen hat, werden von Geerz [249] geographisch und nationalökonomisch beleuchtet.

Ueber das niederländische Polderland wollen wir noch einige Bemerkungen machen. Wir geben, um das Wort selbst ganz verständlich zu machen, die Definition Blinks [250] wieder: Im geographischen Sinne ist Polder eine Landfläche, die durch Deich- oder Schleusenbauten vom umliegenden Gebiete abgeschlossen ist, und innerhalb deren das Wasser auf einer bestimmten Höhe — „Polderpeil“ — gehalten werden kann. Man vermag es demnach auch ganz zu entfernen, wie dies mit einem ehemaligen Ausläufer der Zuyder-See, dem Haarlemer Meer geschah, dessen Urbarmachung, von Blink [251] und Amersfoort [252] geschildert, 1883 vollendet war und für 16 000 Menschen Wohnsitze schuf. Doch war nicht dieser Endzweck der massgebende, sondern man musste das Wasser bekämpfen, weil es immer weitere Uebergriffe ins Land gemacht hatte; in den Jahren 1531, 1591, 1647, 1740, 1808 umfasste, Bostras von Blink (s. o.) reproduzierter Karte zufolge, das „Meer“ resp. 5600, 10 590, 14 450, 15 400, 16 600 und 17 775 Hektar, und da war es denn höchste Zeit geworden, eine gründliche Reform ins Werk zu setzen. Ebenso nimmt die Zuyder-See selber fortwährend zu; nach van Ertborn [253] ist deshalb die — schon 1849 durch den Ingenieur van Diggelen angeregte — Frage, den ganzen Meerbusen auszupoldern, ernstlich auf die Tagesordnung gesetzt worden, und es wurde 1894 eine Kommission zu diesem Zwecke einberufen, deren Vorsitz der Minister Lely übernahm. Bei der geringen, 5 m nur selten überschreitenden Tiefe der Bucht ist der Plan gewiss der Verwirklichung fähig.

Die landbildende Thätigkeit des Meeres ist in diesem Abschnitte nur einseitig gekennzeichnet worden; es war nämlich wesentlich nur von Alluvionen im engsten Sinne, von niedrigem Schwemmlande die Rede, und ausserdem wurde die doch auch sehr oft kräftige Mitwirkung zweier Agentien, des fliessenden Wassers und der Vegetation, nur gestreift. Es hat somit jetzt eine Ergänzung nach zwei oder drei Richtungen hin einzutreten. Die Sandbauten des Meeres werden uns im nächsten Paragraphen zu beschäftigen haben.

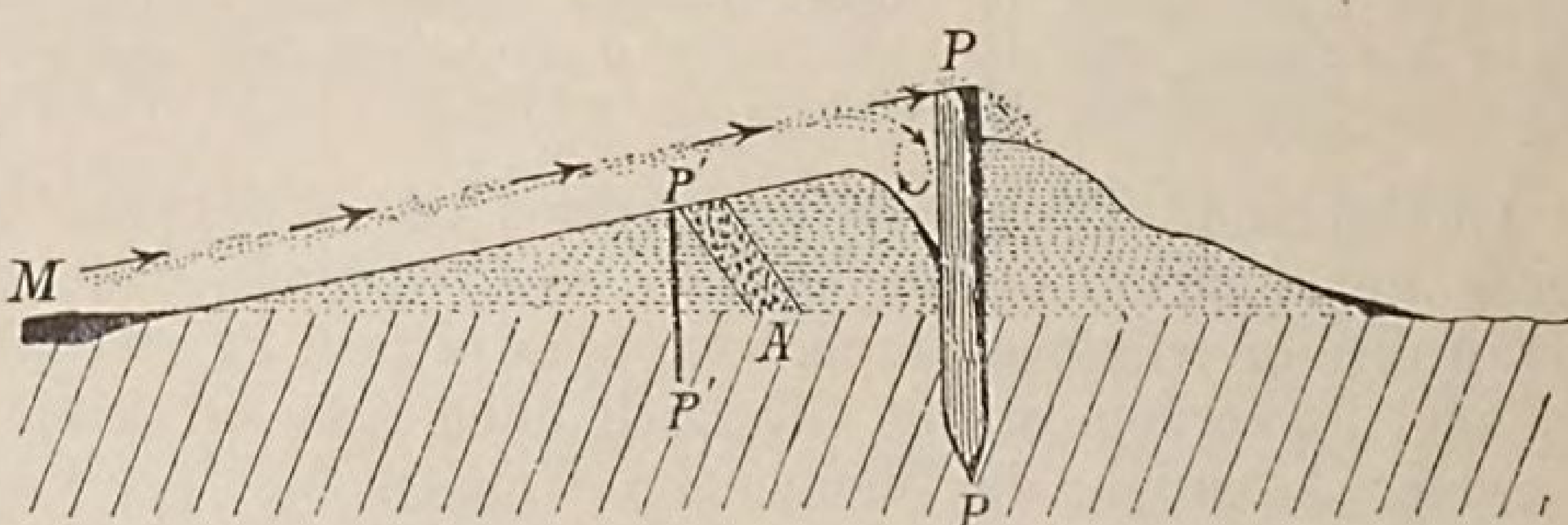
§. 6. **Dünenbildung und Dünenwanderung.** Als Düne bezeichnen wir schlechtweg eine Bodenerhebung, die ganz oder doch fast ganz aus feinkörnigem Sande besteht. Solche Sandhügel findet man an der Küste und im Binnenlande; die Notwendigkeit, scharfer Trennung der verschiedenen Modalitäten der Dünenbildung scheint zuerst von den russischen Geologen Muschketow [254] und Sokolow gefühlt worden zu sein, welch letzterem man das einzige grössere Werk [255] über die Gesamtheit der einschlägigen Probleme zu danken hat. Bei v. Richthofen [256] finden wir die verschiedenen Arten der Dünen auch getrennt behandelt, wogegen Penck [257], der den einheitlichen Charakter der Dünenlandschaft an die Spitze stellt, neben den trennenden Gesichtspunkten auch die einigenden zu ihrem Rechte kommen lässt. Uns ist an dieser Stelle durch das System eine scharfe Scheidung zur Pflicht gemacht; wir versparen die Kontinentaldünen auf unser morphologisches Schlusskapitel und behandeln ausschliesslich die Meeres- oder Küstendünen.

Ueber die frühesten Erwähnungen der Dünen in der Litteratur findet man Näheres in der Schrift Kretschmers [258]. Aus dem Jahre 839 liegt ein annalistischer Bericht des Bischofs Prudentius von Troyes vor, es seien durch eine Sturmflut in Friesland die „aggeres arenarum, quos dunos vocant,“ dem Boden

gleichgemacht worden. Dies ist die erste Nennung des uns jetzt so geläufigen Wortes, von der wir wissen. Genauer schildert die Sandablagerungen der italienischen Küste der Aretiner Ristoro, der sich sogar die Entstehung der Berge überhaupt als derjenigen der Dünenhügel ähnlich zurechtlegt [259]. Es unterliegt wohl keinem Zweifel, dass Stevin (I, S. 14) an gewisse mittelalterliche Theorien anknüpfte, als er die Gebirge gewissermassen nur als graduell von den Strandhöhen seines Vaterlandes Holland abweichend hinstellte. Wie genau er mit diesen bekannt war, geht aus seinen Ausführungen deutlich genug hervor [260]. Wer selbst, meint er, noch keine Sanddünen in der Natur gesehen habe, der könne sich von deren Art und Wachstum doch leicht einen Begriff verschaffen, wenn er sich die überall vorkommenden Schneedünen genauer anschaue. Menge des Sandes, Richtung und Kraft des Windes bestimmen zusammen die Grösse der Dünen. Späterhin hat man die Dünen als ein Stiefkind der Erde behandelt und sich höchstens unter dem praktischen Gesichtspunkte des Küstenschutzes mit ihnen beschäftigt, und erst in der neuesten Zeit schenkt man ihnen auch als einem an sich interessanten Untersuchungsobjekte Aufmerksamkeit. Von bekannteren Werken sind, neben den oben zitierten, in dieser Richtung hauptsächlich E. Reclus [261] und Peschel-Leipoldt [262] zu nennen, und Blink hat seiner — in Deutschland noch zu wenig bekannten — Landeskunde der Niederlande ein selbständiges Kapitel [263], „Orographie der Dünen“ betitelt, einverleibt.

Eine Düne (franz. dune, engl. down, ital. dune, holländ. duine) ist also, wie gesagt, eine nach einem ganz bestimmten Gesetze gebildete

Fig. 125.



Sandanhäufung. Die Brandung, unterstützt durch die Gezeiten, setzt am Strande ungeheure Massen feinst zerriebenen Festmateriales ab, und wenn nun die Seebrise sich dieser leicht fortzuführenden Körperchen bemächtigt, so treibt sie dieselben landeinwärts. Wäre die Strandfläche absolut glatt, so würde sie sich mit einer gleichmässig dicken Sanddecke überziehen; sowie sich aber irgend eine Unregelmässigkeit des Bodens dem fortgetriebenen Sande entgegenstellt, ist ein Ansatz zur Dünenbildung gegeben.

Wie das zugeht, wollen wir mit den treffenden Worten Senfts [264] schildern. „Stellt sich den sandführenden Luftströmungen in der Entfernung von 14 bis 17 m irgend ein Körper, z. B. ein Steinblock, entgegen, dann setzen jene an der ihnen zugewendeten Seite desselben so lange Sand ab, bis derselbe ganz mit Sand belegt ist. Hat in dieser Weise die Sandbelegung die volle Höhe des Körpers erreicht, dann schieben die weiter noch nachfolgenden und am Boden hinstreichenden Luftströmungen den teils schon abgesetzten, teils noch aus ihnen niedersinkenden Sand über den Gipfel oder Rücken des übersandeten Körpers hin nach dessen Rückabfall, so dass zuletzt über dem ganzen Körper ein Sandhügel entsteht, welcher an der Vorder- oder Seeseite ganz allmählich ansteigt, an der Hinter- oder Landseite aber schroff abfällt und, je nach der Gestalt des seinen Kern bildenden Körpers, bald einen stumpf abgerundeten Kegel, bald einen dachförmigen Rückenhügel darstellt.“ Wir verdeutlichen diese Schilderung des Herganges durch Fig. 125. Die vom Meere M kommende Luftströmung ist durch Pfeile signalisiert. Der Pfahl P'P', an welchem sich die mit Sand beladene Luft zuerst staute, ist bereits überwunden und steckt fest in der inzwischen fortgeschrittenen

Düne, welcher sich als ein zweites Hindernis der Pfahl P P entgegenstellt. Ein Teil der bewegten Luft überschreitet dessen Spitze und gibt den mitgebrachten Sand jenseits ab, so dass hier ein Abfall in Lee [282] sich bildet, der stärker als derjenige auf der anderen Seite geböscht ist, und zwar stimmt die Profilkurve wesentlich mit einer logarithmischen Linie (I, S. 370) überein. An der Vorderseite des Pfahles aber bilden sich Luftwirbel, und indem durch diese der Sand zum Niederfallen gebracht wird, füllt sich die — gerade wie bei Schneewehen — vor dem Hindernis zuerst entstehende Grube allmählich aus. Völlig homogen wird das Dünenmaterial nur selten sein, weil der Wind nicht immer mit gleicher Stärke weht; wenn z. B., wie in Fig. 125 bei A, eine Schicht gröberen Sandes sich vorfindet, so weist dieselbe auf eine stürmische Luftbewegung hin, welche gröberen Sand mobil zu machen vermochte, als dies dem gewöhnlichen Seewinde möglich ist.

Gegen diese sonst allgemein adoptierte Theorie der Dünenbildung hat Bouthillier de Beaumont Einwendungen erhoben [265]; der Wind sei bloss „niveleur“, vermöge keine Erhöhungen zu bilden, und nur das Seesalz diene als Bindemittel der Sandkörner. Es fiel Zobrist [266] nicht schwer, diese Ansicht zu widerlegen. Er betont, dass dann, wenn der Wind aus verschiedenen Himmelsgegenden komme, keine geradlinig verlaufende Dünenkette, sondern, wie vielerorts in Jütland, halbmondförmige Erhebungen entstehen. Natürlich unterstützen auch die Meeresströmungen den Prozess. Darum ist es auch möglich, eine vorkommende Düne auf ihren Ursprung — ob marin, fluviatil oder rein terrestrisch — zu prüfen. Obrutschew hat in den Dünen der turkmenischen Wüste östlich vom Kaspischen See Meeres-, Fluss- und Binnenlandsande deutlich unterschieden [267].

An den Ufern sandreicher Meere stösst der Wanderer auf die charakteristische, in den verschiedensten Erdzonen die gleichen Züge aufweisende Dünenlandschaft. Kuppen verschiedener Höhe reihen sich aneinander; der Neigungswinkel jedes einzelnen Hügels ist gegen die Küste hin weit kleiner, als auf der Seite des Hinterlandes, wie dies aus der Art der Entstehung (s. o.) mit Notwendigkeit hervorgeht. Der bestimmende Charakter der Dünenlandschaft ist Mangel an Stabilität, denn die Dünen wandern, und wenn nicht von der Natur oder vom Menschen besondere Massregeln ergriffen werden, um der Bewegung landeinwärts Einhalt zu thun, so setzt sich dieselbe immer weiter fort. Das Verfestigen der Dünen hat sich infolgedessen zu einer förmlichen Technik ausgebildet.

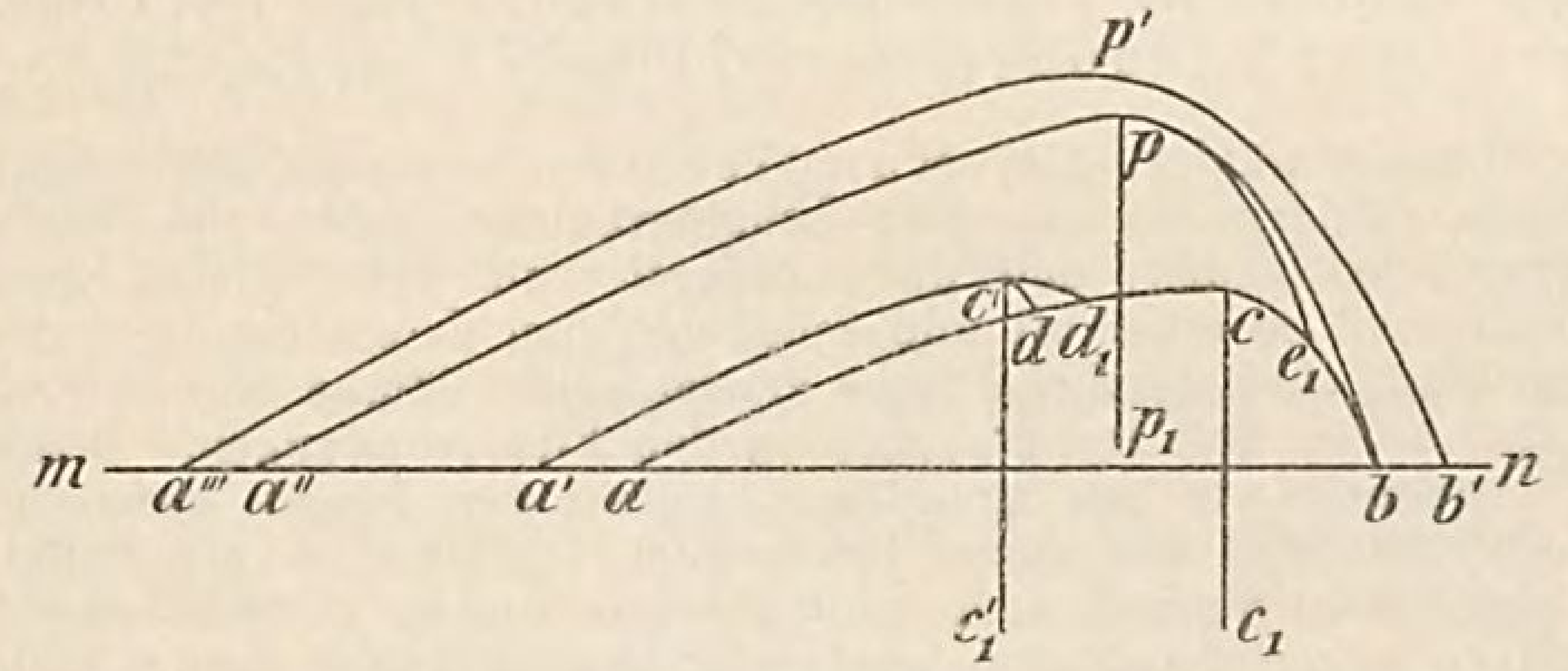
Besonders hohe Dünen baut der regelmässig wehende Passatwind auf [268]; so kommen auf Madagaskar nach Grandidier [269] Küstenhügel von 140 m Höhe vor, und an der tunisischen Küste, welche den ganzen Sommer über von Nordwinden getroffen wird, hat Parrau [270] noch höhere Dünen gemessen. Eine Stelle im „Periplus“ des Karthagers Hanno glaubt dessen neuester Herausgeber auf die hohen Sandhügel bei Kap Blanco deuten zu sollen [271]. Die holländischen Dünen erreichen eine Maximalhöhe von 60 m [272]; in jenem Lande unterscheidet man die der Kammrichtung parallelen Dünenlängsthäler („duinvalleien“) von muldenförmigen Einsenkungen („duinpannen“); die Breite des von den Dünen eingenommenen Küstenstreifens schwankt zwischen 400 und 1000 m. Höher noch steigt das Sandgebirge an der südspanischen und gascognischen Küste (90 m) an, und gerade diese letztere — die „Landes“ genannt — hat schwer unter der Verheerung des Wandersandes zu leiden, so dass schon im XVIII. Jahrhundert eine Litteratur über die Nachteile dieser Küstenformation sich zu bilden begann [273]. Vor Zeiten war die Küstenregion gut bewaldet, denn schon 1383 handelt eine Urkunde König Richards II. von England von der Harzgewinnung in den dortigen Forsten [274], obwohl schon aus älterer Zeit Sandeinbrüche gemeldet werden. Seit 1780 Kiefern angesäet wurden, besserte sich der Zustand, aber Napoleons I. Nachfrage nach gutem Schiffbauholze verursachte eine neuerliche Waldverwüstung, und da seitdem die Dünen mit ihren massenhaften, Miasmen aushauchenden Etangs (S. 593) immer bedrohlicher wurden, so musste neuerdings, wie wir gleich nachher sehen werden, die Befestigungsarbeit kräftiger in Angriff genommen werden.

An der Küste Jütlands fand Maack Dünenzüge von 30 m Absoluthöhe [275]. Vor allem aber gelten Hinterpommern und Preussen als ein klassisches Dünengebiet; nicht sowohl wegen der ungewöhnlichen Meereshöhe der Gipfel, obwohl Zobrist sehr unrecht hat, wenn er (s. o.) die Ostseedünen für wenig bedeutend erklärt, wohl aber wegen der interessanten Dünenszenerien. P. Lehmanns farbenreiche Schilderungen [276] machen uns mit förmlichen Dünengebirgen bekannt; speziell die Dünen der Frischen und Kurischen Nehrung sind zum öfteren Gegenstand monographischer Behandlung gewesen, so bei Foss [277], Sohncke [278], Bezzenberger [279], Uhl [280], Keilhack [281], Schwahn [282], mit welcher Aufzählung jedoch die einschlägige Litteratur keineswegs erschöpft ist. Die Dünen rücken mit einer Geschwindigkeit vor, die von Lehmann auf 9, von Keilhack auf 8, von Uhl im vierzigjährigen Mittel auf 6 m veranschlagt wird. Je weiter sie auf ihrer Wanderbahn gelangen, um so mehr flacht sich ihre Luvseite (S. 282) ab, und da dann das Grundwasser vielfach zu Tage tritt, so können sich in den Einsenkungen Dünenseen bilden, für die nach P. Lehmanns Beobachtungen [283] sogar mitunter erst die Erosion des Windes die erforderlichen Hohlräume schafft. Häuser und ganze Dörfer werden unter dem Wandersande begraben; Alt- und Neu-Pillkoppen wurden, wie Uhl (s. o.) berichtet, zweimal deshalb von den Einwohnern verlassen und an einem dritten Orte wiederaufgebaut, und das Dorf Kamaiten kam in gänzlich verwüstetem Zustande wieder ans Tageslicht, nachdem der Dünenzug darüber hinweggegangen war. Am eigentümlichsten gestaltet sich der Anblick eines Waldes, wenn er wieder aus seinem Sandgrabe aufgetaucht ist; „alles hat sich," so lautet die Schilderung Schwahns (s. o.), „in der Welt des Sandes in Atome aufgelöst; die wieder hervortretenden Bäume sind nichts mehr als morsche, zerbröckelte, schwarze Skelette". Auch Sohncke bezeichnet [284] dieses Freiwerden der Baumbestände als „eine schauerliche, öde Auferstehung". Ereignisse der angegebenen Art haben zur natürlichen Folge, dass die fortschreitende Düne in ihrer inneren Struktur auch fortschreitenden Veränderungen unterworfen ist. So fand Schumann [285] in einem 9 m hohen Dünenwalle nächst Cranz (bei Königsberg i. Pr.) von oben nach unten folgende Bestandteile: Waldhumus, groben Dünensand, Humus nebst Baumstümpfen eines verschütteten Waldes, kalkigen und weissen Sand mit Humusschichten eines noch früher vernichteten Waldes, hellgrauen Sand, Torf mit Moos, Erlen- und Fichtenresten, grauen Sand, Torf und wieder grauen Sand. Man kann also ganz wohl von Dünenschichten sprechen, und wenn man diese studiert, stellt man zugleich fest, wann die Düne verhältnismässig in Ruhe sich befand, weil nur in solchen Stadien Pflanzenansiedelung stattfinden konnte. Heutzutage sind bewaldete Dünen am baltischen Strande sehr häufig. „Wo das Pflanzenkleid Lücken hat, wird der Sand ausgeweht, und es entsteht eine wahrhaft höckerige, für die Kuspendünen bezeichnende Oberfläche" [286]. Gelingt es, die Düne zum Stillstande zu bringen, so verkümmert sie einerseits, kann aber auch andererseits durch spätere Sandwehen wieder erhöht und verbreitert werden. Solche Dünenreste sind die von Steenstrup [287] beschriebenen Rimmer, die an der Küste Nordjütlands, namentlich bei Kap Skagen, nicht selten sind und eine coupierte, schon auf den Messtischblättern (I, S. 303) ihre Eigenart bekundende Dünenlandschaft darstellen.

Durch Zwangsansiedelung von Gewächsen darf man der Dünenwanderung am ersten ein Ende zu bereiten hoffen. Das wusste schon Albertus Magnus [288], und praktisch haben die Holländer die Thatsache auszunützen verstanden. Hierüber gibt Stevin (s. o.) Auskunft [289]. Er bespricht die Möglichkeit, Dünen zu verankern, und fährt fort: „... Et aussi que sur les dunes avec le temps, l'herbe croist, comme aussi plusieurs arbrisseaux qui aprofondissent leurs racines de plus en plus, ce qui retient beaucoup le sable." Damit ist der springende Punkt getroffen; das Wurzelwerk der Pflanzen bildet Verschlingungen und zuletzt ein dichtmaschiges Netz, in welchem sich der Wandersand verfängt und, indem auch die einsickernde Feuchtigkeit mitwirkt, zur mehr oder weniger festen Masse wird. Nicht jede Art von Vegetation hilft natürlich den Zweck gleich bequem erreichen. Am besten [290] eignen sich Sandhalm (Ammophila baltica) und Strand- oder Dünenhafer (Elymus), welch letzterer schilfartige, 1 m Höhe erreichende Halme besitzt und sehr tiefe Wurzeln schlägt. Hochstämmige Bäume anzupflanzen, empfiehlt sich erst dann, wenn bereits ein gewisser Grad der Verfestigung erreicht ist; unter ihnen erfüllen Kiefern ihre Aufgabe am besten,

wie nach Grandjean (s. o.) De Villers im Dünengebiete von Arcachon dargethan hat. — Uebrigens reicht das soeben erörterte Auskunftsmittel keineswegs immer aus, und bei lebhafterer Sandbewegung muss man ein Verfahren anwenden, wie es uns wiederum Grandjean [291] als ein in Südwestfrankreich erprobtes kennen lehrt. Man wollte eine fixe Küstendüne von 200 km meridionaler Ausdehnung schaffen und verfuhr hierzu in der durch Fig. 126 veranschaulichten Weise. Es wurde — die Zeichnung bezieht sich selbstredend bloss auf einen westöstlich gelegten Vertikaldurchschnitt — ein Pfahl $c c_1$ eingeschlagen, der zunächst (s. o.) das Dünenprofil a c b bedingte. Dem ersten Pfahl folgte ein zweiter, $c' c'_1$, der sich mehr dem Strande näherte, und durch ihn ward als neues Profil die eingeknickte Linie a′ c′ d c b herbeigeführt. Die Böschung c′ d schrägte sich mit der Zeit unausgesetzt ab; sowie sie die Form $c' d_1$ erreicht hatte, schlug man eine dritte Pallisade $p p_1$ ein, nach welcher sich allmählich, über die Zwischenlage $a'' p e_1$ hinweg, eine Profillinie a″ p b herausbildete. Zuletzt kam die ursprünglich angestrebte Profilkurve a‴ p′ b′ zu stande, welche beim Beginn der Arbeiten, nachdem auf der Horizontalen m n die künftige Dünenbasis abgesteckt war, als erwünscht betrachtet worden war. Auf der Krone wurden dann die Bäume so angepflanzt, dass sie sich zwischen der Pallisadenreihe und einer ihr parallel angelegten Flechtwerkwand befanden [292]; damit war eine Plateaubildung und mit ihr dauernde Festhaltung der Düne erreicht. Es versteht sich von selbst, dass man etwa schadhaft gewordene Stellen sofort durch Faschinenbau reparierte, und dass man strenge Verordnungen zur Schonung der jungen Pflanzung erliess. So wird auch oft in Holland gegen

Fig. 126.



die in Scharen die Dünen bevölkernden Kaninchen [293] mit einem förmlichen Vernichtungskriege vorgegangen, weil sie die jungen Schösslinge abfressen.

Auch in der Kriegsgeschichte können die Dünen eine gewisse Rolle spielen. Wie schwer es bei der berühmten Belagerung Kolbergs im Jahre 1807 der preussischen Besatzung ward, im Flugsandgebiete Verschanzungen anzulegen, erzählt v. Hoepfner [294]; man musste regelmässig Zäune aus Kiefernsträuchern flechten, um nur einige Haltbarkeit zu erzielen. Auf der anderen Seite wurde [295] den Franzosen die Eroberung der Frischen Nehrung erleichtert, weil man preussischerseits die zur Fixierung der Dünen geschaffenen Aufforstungen nicht zu zerstören gewagt hatte.

Die Dünen sind uns jetzt ihrem ganzen Wesen nach bekannt. Als Küstendünen können sie nur in nächster Nähe des Meeres entstehen, aber trotzdem sind sie nicht eigentlich eine maritime, sondern eine äolische (Aeolus, Windgott) oder subaërische (aër, Luft) Bildung. Ersteres Wort, das dann namentlich durch v. Richthofen [296] allgemeiner üblich geworden ist, hat nach Penck [297] der Amerikaner Nelson im Jahre 1835 eingeführt. Wir werden von diesen wesentlich synonymen Ausdrücken im ersten und fünften Kapitel der achten Abteilung Gebrauch zu machen haben.

Immerhin darf der Einfluss des Meeres nicht unterschätzt werden; das erhellt schon daraus, dass sehr häufig am luvwärts gerichteten Fusse der Dünenkette

sich Triebsand ansammelt. Als Triebsandgebiete, die sehr gefährlich werden und, wie Schwahn mitteilt [298], einen Wagen samt den Pferden zum Versinken bringen können, bezeichnet man Stellen, die teilweise vom Meere unterspült, teilweise auch durch das vom Drucke der Dünen emporgepresste Grundwasser infiltriert sind. Warnungstafeln machen den Nehrungsreisenden aufmerksam, wenn er sich solch verrufenem Orte nähert. Kant kannte den Triebsand als Landeskind wohl, obwohl er sonderbarerweise als bemerkenswerte Dünen nur diejenigen von England zu nennen weiss [299]. Die Beziehungen zwischen Flug- und Triebsand verdienten wohl noch etwas mehr aufgeklärt zu werden.

§. 7. **Landbildung und Vegetation in Wechselwirkung.** Die Betrachtungen dieses Paragraphen schliessen sich denjenigen des vorigen ungezwungen an, denn soeben erfuhren wir, dass Pflanzen es vorwiegend sind, welche aus Wanderdünen feste Dünen machen. So ist denn überhaupt der Anteil kein ganz geringer, den die Vegetation bei der Gestaltung der Küsten bethätigt. Ganz besonders gilt dies für die der Tropenzone eigentümlichen Mangrovegebüsche, welche, als Sand- und Schlammfänger, von Supan [300] „die wahren Pioniere des Landes im Kampfe gegen das Meer“ genannt werden. Auch v. Richthofen [301] und Penck [302] behandeln diese Aktion der Pflanzenwelt, so passiv sie immer erscheinen mag, als ein nicht unwichtiges Problem der physischen Erdkunde. Aber auch sonst können phytogene Landbildungen (φυτός, Pflanze) von Belang vorkommen.

Die Mangrovewälder oder Manglebüsche setzen sich zusammen aus einer Baumart (Rhizophora mangle; Leuchterbaum), deren Stämme und Aeste Luftwurzeln entsenden, und diese dringen zum Teile wieder in den Boden ein, hierdurch eben zu einer oft undurchdringlichen Verschlingung Anlass gebend. Die immergrünen, eine ziemliche Höhe erreichenden Bäume bilden förmliche Barrièren an der Küste und insbesondere in den Flussmündungen. Besonders hoch entwickelt begegnen wir den Manglebüschen an den Küsten gewisser Teile von Amerika und Westafrika und zumal Indonesiens, wo sie Schimper [304] studiert hat. Der eigentliche Stamm ruht infolge seiner soeben geschilderten Beschaffenheit auf seinen gegen den Boden hin verästelten Wurzeln wie auf einem Korbgestelle, in welchem sich die von Flüssen und Küstenströmen herbeigeführten Sinkstoffe zur Flutzeit ansammeln, um während der Ebbe einem langsam fortschreitenden Verfestigungsprozesse zu unterliegen. Diese Landbildung erzeugt wesentlich Inseln und Halbinseln, wie Weinland [305] und Hahn [306] des näheren dargelegt haben. Wie Ratzel bemerkt [307], leisten auch die Früchte des Baumes der Tendenz, dem Wasser Raum abzugewinnen, Vorschub, indem sie ins seichte Wasser fallen und neue Schösse treiben, die ihrerseits wieder im Meere Anker werfen. Die Grunderwerbung für die als Everglades bekannten Inselchen an der Küste Floridas war allerdings den Korallenpolypen zu danken, aber die Befestigung des zuerst submarinen und dann aus den Wellen aufgetauchten Inselkernes war in erster Linie das Werk der Mangrovegebüsche. In diesem Sinne spricht sich auch Shaler aus, der die Mitwirkung organischer Stoffe bei der Landbildung aus dem Meere einer besonderen Untersuchung unterzogen hat [308]. Tieferes Wasser setzt der Ausdehnung der Küstenvegetation eine Grenze, denn dann können die Luftwurzeln keinen Grund mehr fassen. Vegetative Sedimente erleichtern aber auch die Ansässigmachung niederer Tierarten, die dann (vgl. S. 600) den Küstensaum vor Zerstörung durch die Brandung schützen und denselben auch erhöhen. Shaler fand an der amerikanischen Ostküste, südlich von Boston und noch mehr am Savannah River, 4—5 Fuss dicke Lagen von Austernschalen, und, wie diese, so haben auch Sandmiesmuscheln (S. 567), Krabben und Krebse einige Bedeutung als Landbildner.

Auch andere Pflanzen nehmen an der Verdrängung des Meeres teil, so besonders die stammlose Nipapalme, die in der Sunda-See mit dem Manglebaume die Konkurrenz aufnimmt. Sie säumt nach v. Lehnert [309] die Ufer dicht ein, kann sowohl in Fluss- als auch in Seewasser gedeihen und hält alle ins Bereich ihres Wurzelwerkes gelangenden Schwemmstoffe fest. — Da, wo der westafrikanische

Kuilu sich mit dem Meere verbindet, fand Pechuël-Lösche [310] Eilande von stark wechselnder Grösse, welche durch die Gezeiten und die Küstenströmung ins Leben gerufen, zu deren Erbauung aber wesentlich vegetative Stoffe verwandt wurden, die dann selbst wieder einen Ansatzpunkt der Sinkstoffablagerung bildeten.

Wir ersehen aus diesen Angaben, dass pflanzliche Landbildung auf der Erde zwar nur innerhalb gewisser räumlicher Grenzen eine höhere Bedeutung gewinnen kann, dort aber, wo die Natur die entsprechenden Gewächse reichlich hervorbringt, durchaus nicht unterschätzt werden darf. Bekannt ist, dass die litoralen Mangrovegehege als Brutstätten von Krankheitskeimen gefürchtet werden (S. 368); freilich ist dies nicht den Bäumen selber zuzuschreiben, die ja an und für sich eher luftreinigend wirken müssten, sondern lediglich der Unmenge organischer faulender Stoffe, aus denen sich zum Teile das Neuland zusammensetzt. Denn ein Mangrovebezirk stellt sich dar als ein Territorium von Sümpfen und Altwassern, und der freien Durchspülung durch die Meeres- und Flusswellen bereiten die um die Wurzeln sich anhäufenden Schlammmassen die grössten Hemmnisse.

Eine lebensvolle Schilderung der in dieser Hinsicht typischen Dahomeyküste besitzen wir von D'Albéa [311]. Grosse Strandseen haben sich allerorts gebildet, weil das Wasser der zahlreichen Flüsse nicht bis zum Meere durchdringen kann, und die zahlreichen Barren, an deren Zustandekommen eben grossenteils die Strandvegetation schuld ist, erhöhen mehr und mehr das Niveau der fliessenden und stehenden Gewässer. Das inundierende Wasser dringt in das Festland ein und verwandelt Teile desselben in schwimmende Inseln (Kap. IV, §. 2). Gerade diese Gegenden zeichnen sich auch sehr unvorteilhaft durch ihre Malariagefahr aus.

§. 8. **Kombinierte Thätigkeit von Meer und Fluss; Aestuarien und Deltas.** Nachdem wir schon wiederholt bei unseren bisherigen Ausführungen die potamogene Küstenbildung der thalassogenen gegenüberzustellen hatten, ist es nunmehr an der Zeit, die erstere für sich zu betrachten und ihre Bedeutung als die eines überaus thatkräftigen morphologischen Elementes kennen zu lernen. Es kann deshalb nicht auffallen, dass schon das Altertum, welches häufig durch die Klarheit des Blickes den Mangel positiven Wissens mehr als ersetzte, hierüber sich schon ganz zutreffende Ansichten gebildet hatte; H. Fischer hat [312] von den zahlreich bei Strabon zu findenden Aeusserungen über die Beziehungen zwischen Salz- und Süsswasser ein treffliches Bild entworfen. Ueber die Entstehung der Lagunen und Strandseen ist, da dieselbe auch ohne Beihilfe eines Flusses denkbar ist, bereits gesprochen worden (S. 614), so dass wir uns darüber jetzt kürzer fassen dürfen; dagegen ist der Barrenbildung und der verschiedenen Gestaltung der Flussmündungen besondere Beachtung zu widmen.

Unter Barre versteht man die Anhäufung von Sinkstoffen auf dem Meeresgrunde, durch welche eine Flachsee herbeigeführt wird; zwischen Barre und Bank (Neu-Fundland-Bank, Doggers-Bank, vgl. S. 404) besteht nur insofern ein Unterschied, als eine Bank nach den beiden Horizontaldimensionen ziemlich gleichmässig ausgedehnt erscheint, während der Barre wesentlich eine longitudinale Erstreckung zukommt. Während die Flachsee an manchen Küsten — denn gänzlich fehlt sie ja nur in Ausnahmefällen — bloss eine schmale Abdachungszone bildet [313], nimmt sie anderwärts den Charakter ausgedehnter Erhebungen an, kann sogar unter Umständen, ganz gegen den sonstigen Typus des Meeresbodens (S. 409), einer unruhigen Landschaft gleichen, wie dies Lorenz v. Liburnau [314] für die submarine Erweiterung des Karstes nachgewiesen hat. Weder Brandung allein, noch

Aufschüttung allein ist bei der Entwickelung des Flachseecharakters beteiligt; die von Buchanan [315] und Thoulet [316] gegebenen Erklärungen treffen jeweils nur einen Teil der bestimmenden Agentien, während v. Richthofen [317] die Kombination zerstörender und landbildender Faktoren in ihr Recht einsetzte. Ein gutes Beispiel solcher Vereinigung bieten uns die Eisberge. Dass sie Gesteinsmaterial fortführen und beim Schmelzen absetzen, wurde bereits (S. 537) erwähnt, wenn auch gegen die zu starke Betonung dieser Tendenz, den Meeresgrund zu erhöhen, Verwahrung eingelegt werden musste. Und ferner ist Darwins schon ältere, aber wenig beachtete Behauptung [318], es vermöchte schwimmendes Eis den Boden in Längsrinnen auszufurchen, neuerdings durch Mains Lotung der Neu-Fundland-Bank bestätigt worden [319]. Ebenso, nur ungleich energischer, wirken die Flüsse. Von den unterseeischen Stromthälern war bereits die Rede, und die Flussanschwemmungen beschäftigen uns in diesem Paragraphen. Wie dieselben, indem sich zuerst die sogenannten Inselkerne (Kempe) bilden, nach und nach zur Entstehung von Lagunen führen, erläutert Ackermann, der drei verschiedene Stadien des Werdens unterscheidet [320], bis zuletzt ein abgeschlossener Strandsee entstanden ist; eben derselbe zeigt aber auch [321], wie unsicher eine solche Bildung ist, denn dieselben fluviatilen Schwemmstoffe, die bei der Abschnürung hauptsächlich beteiligt waren, können den See auch wieder zuschütten. Zudem sind Vertorfung und Sandausfüllung stets die Feinde des offenen Wassers; auf die Gefahr, dass die schmalen Eingänge zum Frischen und Kurischen Haff (bei Pillau und Memel) von den Dünen zugesetzt werden könnten, hat Zobrist (S. 617) hingewiesen.

Die Barren hatten die antiken Geographen auch ihrerseits schon als ein der Schiffahrt gefährliches Hindernis erkannt; Timosthenes erzählt von einer sehr langen Barre, die er Herma nennt, und welche er den Säulen des Herkules vorgelagert denkt [322]. Es darf erwartet werden, dass Barren allmählich auch auf die Beschaffenheit des Wassers in der Bay, vor welcher sie aufgebaut wurden, verändernd einwirken werden. Einige Jahre werden ja nicht ausreichen, um diesen Prozess, der sich nur mit äusserster Langsamkeit vollzieht, sinnenfällig zu machen; geologisch und paläontologisch dagegen wird derselbe nach Umfluss von Jahrmyriaden sehr wohl erkennbar werden. Die dabei sich ergebenden Verhältnisse hat Ochsenius [323] klar zu stellen gesucht. Wenn in die teilweise abgeschlossene Bucht Süsswasser von der Landseite her und Salzwasser von der Seeseite her eindringt, so wird Wechsellagerung von marinen und fluviatilen Schichten sich herausbilden, je nachdem der eine oder andere Strom für eine gewisse Zeit das Uebergewicht erlangt hat. Lässt die Süsswasserzufuhr ganz nach, so kann vollständige Verdampfung eintreten, und in den betreffenden Sedimenten fehlen dann die marinen Versteinerungen gänzlich; die schwer löslichen Salzbestandteile (S. 435) scheiden zuerst, die leicht löslichen später aus, so dass Gipsschichten von Chlornatriumschichten überlagert erscheinen. Die Llano Estacado in Texas stellt sich als ein Musterbeispiel für die durch Barrenbildung hervorgerufenen stratigraphischen Zustände dar. Anlässlich der Kohlenlager wird uns Kap. I der achten Abteilung diesen Gegenstand von neuem aufzunehmen nötigen.

Die Klassifikation der Flussmündungen, welche v. Sonklar [324] aufstellte, wurde von R. Credner [325] bestritten. Erstere unterscheidet einfache Mündungen, Aestuarien (S. 482) oder negative Deltas, Deltamündungen und Haffmündungen. Allein kann nicht eine Deltamündung zugleich auch eine Haffmündung sein? Angesichts der ungeheuren Vielseitigkeit der Naturkräfte ist eine absolut befriedigende Einteilung nicht wohl durchzuführen. Penck nimmt [326] als selbständige Kategorien die Barrenmündungen, Mündungstrichter und Deltas an, während Credner zwar dem Prinzipe nach dieselben leitenden Gesichtspunkte beobachtet, im Detail aber eine noch tiefer gehende Spezialisierung für notwendig erachtet.

Die Einteilung Credners folgt zunächst:

Mündungen ohne vorgelagerte fluviatile Schwemmlandbildungen		Mündungen mit vorgelagerten fluviatilen Schwemmlandbildungen		
Ohne Rinnsalerweiterung	Mit Trichteröffnung	Einfache Oeffnungen	Geteilte Oeffnungen	
			Vorhanden	Nicht vorhanden
			erweiterte Mündungskanäle	
Duero, Guadiana, Letina, Limpopo, Kunene.	Elbe, Weser, Themse, Seine, Loire, Garonne.	Ebro, Arno, Hwang-ho, Pei-ho.	Po, Rhône, Mahanadi.	Ganges, Nigir, Jrawadi.

Um einen gegebenen Fluss mit voller Beruhigung in dieses Schema eintragen zu können, müsste man freilich die Mündungsstelle zuerst an der Spezialkarte nachgeprüft haben; Krümmel bemerkt z. B. [327], dass der Limpopo auf der englischen Admiralitätskarte mit einem deutlichen Trichter abgebildet sei und deshalb aus der ersten in die zweite Kolumne versetzt werden müsse. Als ein noch zu beachtendes Moment wäre vielleicht auch das Eindringen der Flutwelle (S. 483) aufzufassen, denn an sich schon bestimmt es wesentlich den Charakter der Mündung, und auch die Gestaltbildung hängt nach van der Wyk [328] nicht ganz unwesentlich von dieser manchmal so höchst grossartig sich geltend machenden Einwirkung des Meeres ab.

Die Mündungsbarre, deren Anwachsen besonders durch die uns von früher her (S. 519) bekannten Ausgleichs- oder Aspirationsströmungen bedingt ist, kann, wenn nur fortwährend für ihre Erhöhung gesorgt ist, die Natur einer Flussmündung gründlich umgestalten, wie dies für den Tiber seit römischer Zeit immer klarer hervorgetreten ist [329]. Der Ausfluss bei Ostia bietet überhaupt zu merkwürdigen Wahrnehmungen Gelegenheit; eine hierher gehörige Studie von Guieysse [330] verdient in dieser Hinsicht besondere Berücksichtigung. Dass in den Mündungstrichtern, weil eben unausgesetzt Meerwasser eindringt, eine ungleich lebhaftere Bewegung des Wassers stattfindet, leuchtet von selbst ein; an der Humbermündung und am Ausgange des Mersey-Aestuariums soll Wheeler [331] zufolge die Wasserführung um das 80-, bezüglich 250fache vermehrt sein, verglichen mit derjenigen an dem Punkte, bis zu welchem die Gezeiten gerade noch vordringen können. Für die Schelde sind von Le Petit, wenn a die Abflussmenge während der Ebbe in Kubikmetern, c die Geschwindigkeit pro Sekunde in Metern bedeutet, folgende Daten ermittelt worden [332]:

	a	c
bei Dendernonde	3863065	0,53
„ Tamise	27901400	—
„ Antwerpen	66686142	0,88
„ Fort Lillo	104957134	0,80

Wassermenge und Geschwindigkeit brauchen sich also nicht gleichmässig zu vermehren. Bei der Ausgestaltung der Aestuarien sind sehr einschneidend die Gezeitenströmungen (S. 480, 595) beteiligt, indem nach Krümmel (S. 612) je eine Flutrinne und Ebbestrasse deutlich ausgeprägt auftreten. Die Flut dauert im Trichter durchschnittlich nicht so lange an wie die Ebbe [333], und damit hängt zusammen, dass die mittlere Geschwindigkeit des Flutstromes diejenige des Ebbestromes zu übertreffen pflegt.

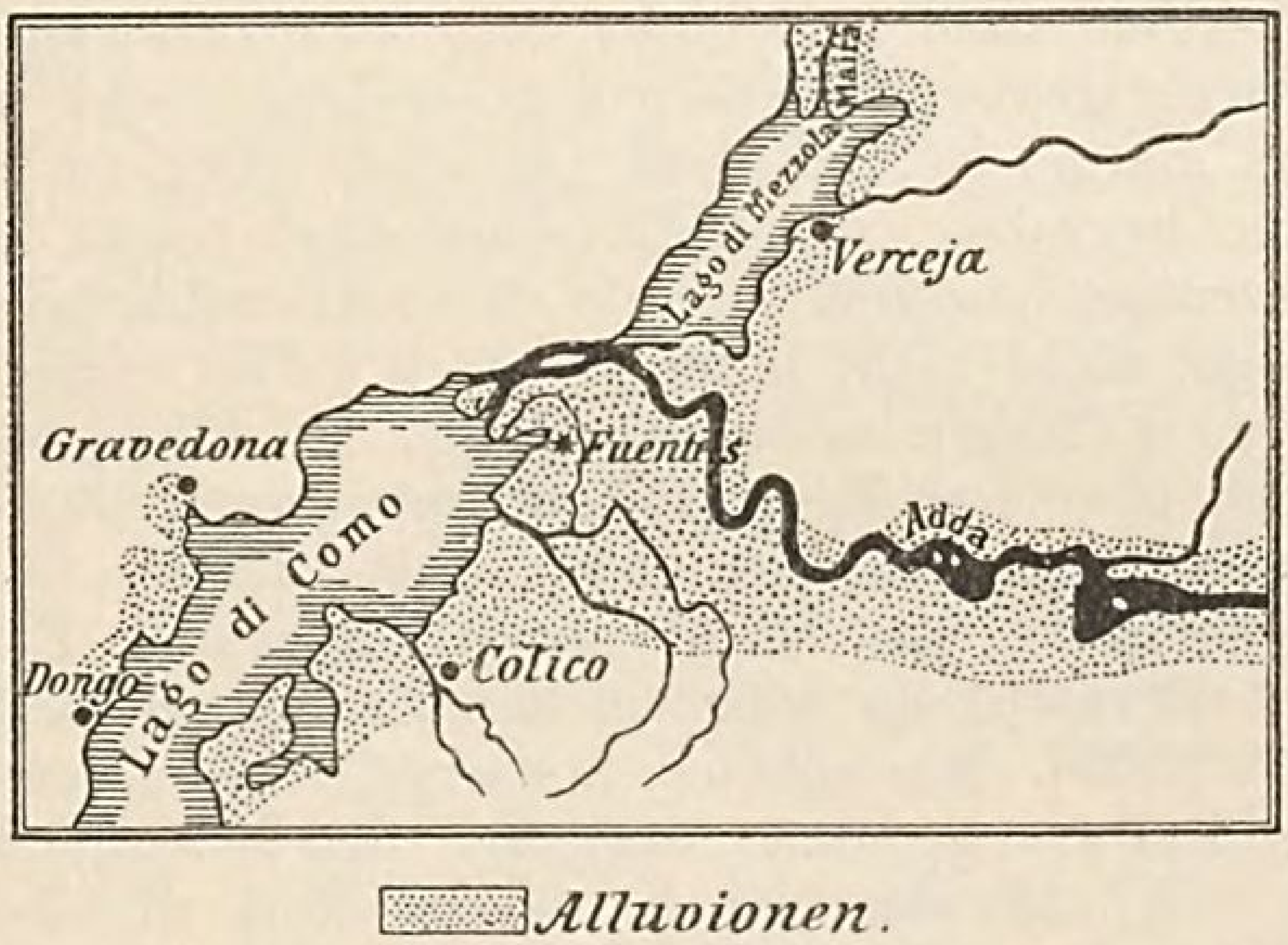
Die Eigenschaft der — nach ihrer Aehnlichkeit mit dem griechischen Buchstaben Δ so benannten — Flussmündungen, sich immer weiter ins Meer vorzuschieben, war dem Herodot und anderen Griechen wohlbekannt [334] (I, S. 3). Was frühere Zeiten von der Sache wussten, hat v. Hoff [335] zusammengestellt,

doch gewann erst Elie de Beaumont [336] den Standpunkt zu einer zusammenfassenden Behandlung des Gegenstandes, und Tylor [337] und Peschel [338], mit dem meisten Erfolge aber Credner (s. o.), sind ihm hierin gefolgt. Ein überaus umfängliches Material über Schwemmlandwachstum im Bereiche der thalassogenen Küste hat Lyell [339] gesammelt, und auch Credner wie Penck [340] liefern einschlägige Berichte. Von Wimmer [341] werden wertvolle Belege dafür beigebracht, dass es grossentheils auf diesem Wege zu beträchtlichen Veränderungen der historischen gegenüber der aktuellen Landschaft gekommen ist. Von der Umgestaltung der Thermopylenpässe wurde schon oben (S. 573) gesprochen, und Philippsons Zeichnung [342] gibt, mit dem herodotischen Berichte in Parallele gestellt, ein gutes Bild von Art und Grösse der in 2370 Jahren vollzogenen Metamorphose. Des ferneren waren schon im V. vorchristlichen Jahrhundert die dem Acheloos-Delta benachbarten Echinaden teilweise landfest geworden, und Herodot schrieb dies ganz richtig den von dem Flusse aus den akarnanischen Bergen mitgeschleppten Sinkstoffen zu [343] („ὃς ἐξεὶς ἐς θάλατταν τῶν Ἐχινάδων νήσων τὰς ἡμισέας ἤδη ἤπειρον πεποίηκεν"). Der Bagradas (heute Medscherda) in Tunisien muss zwischen 204 v. Chr., als Scipio hier sein Lager schlug, bis zu Cäsars Anwesenheit, 49 v. Chr., die Küste ganz erheblich verändert haben; 200 n. Chr. hatte er bereits die Stadt Utica in grösste Not gebracht, und im Jahre 1725 galt der ehedem als einer der besten Ankerplätze Nordafrikas bekannte Hafen am Kap Farina als versandet. — Vor allem ist das kombinierte Po-Etsch-Brenta-Delta durch sein rasches Wachstum ausgezeichnet (S. 614). Ravenna ist schon lange kein Küstenplatz mehr, und das einst handelskräftige, altetruskische Spina, das dem „Spinetum ostium" des Padus den Namen gegeben hatte, ist, nachdem es schon unter Augustus zu einem zwei Miglien vom Strande entfernten Dorf herabgesunken war, gegenwärtig vom Angesichte der Erde verschwunden [344]. Lombardini berechnete [345] die jährlich neu hinzukommende Sedimentmasse auf 30—40 Millionen Kubikcentimeter, und zwar war vor der Eindeichung die Zunahme eine noch grössere. Der Tiber schiebt nach Ponzi [346] seine Alluvionen im Mittel um 3,33 m jährlich gegen das Meer vor. Recht zahlreich sind fluviatile Küstenerweiterungen in Vorderasien. „Verfolgen wir" — mit Cold [347] — „die Westküste Kleinasiens von Süden an, so haben Delta bauende Flüsse das Land an folgenden Punkten vergrössert: an der Mündung des Oerentschai, des Dolmantschai, im Golf von Makeri, im Golf von Mendelioh, an der Mündung des Menderes, des Kütschyk Menderes, des Gedistschai, des Bakyrtschai, im Golf von Endrenind." Der Menderes, im Altertum Mäander, hat am ausgiebigsten gearbeitet und eine dereinst wohlbebaute Kulturlandschaft in eine versumpfte, menschenarme Wüstenei verwandelt [348]. — Das Nil-Delta, so bekannt und merkwürdig es auch ist, besitzt zwar eine sehr grosse Ausdehnung und raschen Fortschritt, mutmasslich in neuerer Zeit 12—13 m im Jahre [349], aber an Mächtigkeit wird es vom Rhône-Delta entschieden übertroffen, denn dort, bei Aigues-Mortes, wurde selbst in 100 m Tiefe noch nicht Gestein, sondern lediglich Alluvion getroffen [350]. Natürlich ist das Dickenwachstum ein veränderliches; beim Nil soll es 4 m im Jahre, bei dem ins Kaspische Meer mündenden Terek dagegen fast 500 m in eben dieser Frist betragen [351]. Alle diese Berechnungen machen auf irgend welche Genauigkeit keinen Anspruch; sollen doch zum Aufbau des Mississippi-Deltas nach Vogt 126 000, nach Lyell 67 000, nach Humphrey und Abbot aber bloss 4400 Jahre verbraucht worden sein [352]. Auch die Angaben Guppys [353] über die Transportleistung des Yangtse-kiang und Doyles [354] über das Seichterwerden des Golfes von Arteban können nur als sehr allgemeine Näherungen gelten, und Kjerulf [355] warnt mit Recht vor den einstweilen doch nur wenig besagenden Zahlenschätzungen. Versuche über Geröllführung und Festkörpertransport, wie sie Vogt [356] gefordert hat, sind seitdem vielfach angestellt worden (vgl. Abt. VIII, Kap. IV), allein für die vorwürfige Frage reichen die bisher erzielten Resultate noch keineswegs aus.

Aeusserlich machen Deltas den Eindruck flacher, nur wenig vom Seespiegel an aufsteigender Ebenen, meist von einem sumpfigen Küstensaume umrandet, von Terrainwellen aber nur selten und spärlich durchzogen. Wenn der Fluss selbst, wie Po und Delta, zuvor schon Schwemmland passierte, so ist eine genaue Abgrenzung des Beginnes — der Deltaspitze — kaum durchführbar. Vorgeschobene Deltas (Mississippi, Lena) und Ausfüllungsdeltas (Nil, Donau) sind auch nicht strenge durch morphographische Kennzeichen zu unterscheiden, und ebensowenig kann man die Anzahl der Flussadern zum Ausgangspunkte bei

einer Klassifikation der Deltas wählen, da deren Anzahl sich oft rasch ändert und viele thalassogene Küsten überhaupt nur ein Wirrsal träger Wasserläufe darstellen. Von den sieben Nilmündungen, deren Strabon Erwähnung thut [357], stehen heute nur noch zwei der Schiffahrt offen, und wäre nicht die europäische Donaukommission in Sulina für die Freihaltung dieses Mündungsarmes unablässig thätig, so würde auch er dem Schicksale der Verschlämmung unterliegen, welchem Kilia- und St. Georgs-Mündung anheimgefallen sind. — Das Material der Deltas bilden die Detritusprodukte des Festlandes, also Schlamm- und Sandteilchen, die, wenn wir Thoulets Definition (S. 412) gelten lassen, als nicht grundsätzlich verschiedene Stoffe anzusehen sind, Quarz in feinst zerriebenem Zustande, thonige Zersetzungsprodukte der Massengesteine, endlich in geringer Menge vegetabilische und in noch geringerer gasförmige Substanzen. Durch in Selbstentmischung befindliche Substanzen kommt es in den Deltas mitunter zur Bildung von Miniaturschlammvulkanen [358] (I, S. 377; „Mud-Lumps“ am Mississippi). Nach Tylor [359] sind die Schichten in Deltas meist ganz horizontal gelagert, was ihrer Entstehung gemäss nicht anders erwartet werden kann. — Nachdem Krümmels Besprechung der Crednerschen Schrift (s. o.) deren Deltastatistik nicht unerheblich vermehrt hat, sind 180 gesicherte Vorkommnisse von einigermassen nam-

Fig. 127.



hafter Ausdehnung anzuerkennen: 58 in Europa, 70 in Asien, 17 in Afrika, 28 in Amerika, 7 in Australien. C. Ritters Meinung [360], dass der hohe Norden der Deltas entbehre, wird durch Lena, Mackenzie, Yukon und andere Beispiele widerlegt, und überhaupt ist an eine Abhängigkeit dieser Gattung thalassogener Küsten von der geographischen Lage nicht zu denken.

Flüsse mit Deltavorbau bekunden nur zu oft die verhängnisvolle Neigung, ihre Laufrichtung zu verlassen und eine neue einzuschlagen. Benndorf und Niemann fanden [361], dass das oft verlegte Bett des Xanthus (Oerentschai, s. o.) erst im Jahre 1870 die heutige Lage annahm. Für die westpommersche und preussische Küste ist solche unter Mitwirkung des Küstenstromes erfolgende Flussverlegung nach Ackermann [362] ein gewöhnlicher Vorfall (Elbinger Weichsel, Rega), und der ganz respektable Landgewinn, den Quandt (S. 613) für diese Gegenden registriert, wird durch Verschiebung der Deltas wesentlich mit bedingt. Das „pendelartige“ Hin- und Herschweifen des Hwang-ho, wie es auf De Contensons Karte zur Anschauung kommt [363], wird von jeher für eine der grössten Kalamitäten Nordchinas gehalten. Es wird auf diese — auch von Penck [364] einlässlich erörterte — Erscheinung in der morphologischen Schlussabteilung zurückzukommen sein.

Deltas können sich selbstverständlich auch da bilden, wo Flüsse und Bäche in einen Binnensee münden, und da die Entstehungsbedingungen dort im allgemeinen keine anderen als hier sind, so mag auch dieser Fall gleich an diesem Orte mit einbezogen werden. Nur das Giessbach-Delta („delta

torrential“ nach Desor) muss von den horizontalen Deltas ein für allemal getrennt gehalten werden [365], weil es morphologisch nicht unter die gleiche Rubrik gehört und morphographisch durch starke Schichtenböschung seine Sonderstellung auch für den Augenschein dokumentiert. Als ein recht sprechendes Beispiel der Zerlegung eines Wasserbeckens in zwei Teile durch Deltabau kennzeichnet Credner [366] die Abtrennung des Sees von Mezzola vom Comer-See (Fig. 127). Das Delta der Adda hat, nahe bei der historisch berühmten spanischen Festung Fuentes, den schmalen Seearm grösstenteils ausgefüllt. Ein ähnliches Schicksal dürfte unabwendbar dem See von Silvaplana in Graubünden vorbehalten sein.

Als primäres Erfordernis eines Deltas ist uns die Sedimentation der vom Flusse mitgeführten Feststoffe bereits bekannt. An und für sich reicht dasselbe jedoch noch nicht hin, um das Zustandekommen eines mehr oder weniger dreieckig gestaltenen Mündungsvorbaus zu erklären; es ist Credners Verdienst [367], dargethan zu haben, dass noch eine zweite Bedingung erfüllt sein muss: Die Küste befindet sich, wenn ein Delta entstehen soll, stets im Zustande kontinentaler Strandverschiebung. Verhält sich die Wasserlinie stabil, so bilden sich zwar Alluvionen, ohne indessen die charakteristische Deltaform anzunehmen, und wenn die Verschiebung eine marine ist, so wird das schon etwa vorhandene Delta von den Fluten begraben, die Aufführung eines neuen unmöglich gemacht. Nur wenige Spezialfälle, die Krümmel anführt [368], scheinen sich dieser Regel nicht recht unterordnen zu wollen. Gäbe es im Meere der destruktiven Faktoren nicht übergenug, so würde also das Delta allmählich hoch über dem Meeresspiegel emporragen müssen; thatsächlich aber rauben jene dem Neulande ohne Aufhören einzelne seiner Bestandteile, „und es muss bei einem verlangsamten Fortbau einmal der Zeitpunkt eintreten, an welchem Zerstörung und Aufbau gleichen Schritt halten“ [369]. Ein solches, konservativ gewordenes Delta wird ein ausgewachsenes genannt; dasjenige des Nils dürfte hierher zu rechnen sein. Würde aber im Laufe der Zeit die Bewegung der ägyptischen Küstenlinie ihr Zeichen ändern, so würde entsprechend später das Nil-Delta ebenso den versunkenen Deltas zuzuzählen sein, wie dies zur Zeit für Hudson- und Connecticut-River gilt.

§. 9. **Kräuselungsmarken.** Erst in den letzten Jahren hat ein Phänomen Beachtung gefunden, welches der Flachsee eigen ist und auch an Sandküsten sich zeigt, die nicht allzulange zuvor vom Meere bedeckt waren. Wir meinen die Kräuselungsmarken oder regelmässigen Bodenrippungen (engl. „Ripple-Marks“; franz. „Rides“), welche gewisse Eigenschaften mit den Dünen (§. 8) gemein haben, jedoch nicht durch den Wind, sondern durch Wasserbewegung erzeugt wurden. Eine Schrift von Bertololy [370] gestattet uns, die Art dieser Bewegung und deren morphologische Folgen auf Grund der neuesten Untersuchungen zu schildern.

Im Jahre 1883 legte G. H. Darwin der Royal Society die ersten Mitteilungen über Versuche vor, welche er an dem Sande des Bodens bewegter Wasserbehälter angestellt hatte, und in dem vorläufigen Berichte wurde sofort auf einen beachtenswerten Gegensatz aufmerksam gemacht [371]: „Die Bildung unregelmässiger Rippungen oder Dünen durch einen Strom rührt her von dem Wirbel, der auf der Leeseite einer jeden Ungleichheit der Bodenfläche existiert“ (vgl. S. 616); „der direkte Strom führt den Sand an der Wetterseite herauf, und der Wirbel

an der Leeseite. Die regelmässige Rippung wird von Wasser erzeugt, das sich im Verhältnis zum Boden in Schwingung befindet.“ Neuere Versuchsreihen hat man, wie von Darwin selber [372], so auch von De Candolle [373], Forel [374] und Hunt [375]; dabei wurde als Versuchsflüssigkeit nicht bloss Wasser benützt, sondern man studierte die Bewegung suspendierter Körperchen auch in flüssigen Substanzen von geringerer Viskosität (I, S. 346). Absolut wird ja, darin hat Krümmel unzweifelhaft recht [376], keine Identität zwischen den natürlichen Verhältnissen und der Versuchsanordnung im Laboratorium herzustellen sein, aber ein grosses Mass von Analogie ist immerhin erreichbar. So zeigt sich auch, dass die experimentell hervorgebrachten Kräuselungsfurchen mit den marinen — und lakustren, wie sie zumal Forel (s. o.) für den Genfer-See nachzuweisen in der Lage war — darin übereinstimmten, dass die gewöhnlichen Erhöhungen für Lee und Luv symmetrisch gebildet waren, d. h. nach beiden Seiten unter ungefähr gleichem Böschungswinkel abfielen; allerdings aber kommt auch eine zweite Art vor [377], welche mehr den Sanddünen der Küste gleicht und welche nicht durch Oszillationen, sondern durch einen konstanten Strom entstanden zu denken ist. Lyell fand [378], dass schon eine sehr mässige Strömungsgeschwindigkeit — 6 englische Zoll in der Sekunde — zur Hebung feinen Sandes hinreiche. Mit der Höhe und Geschwindigkeit der Welle oder mit der Intensität des linearen Anstosses, sowie auch mit der Korngrösse und Dichte des Sandes nimmt die Länge der Furchungen zu, während sie der Wassertiefe umgekehrt proportional ist.

Gegen die Annahme, dass es die Wellen seien, welche ihre Form dem Boden als eine Art von Spiegelbild eindrückten, trat Beete Jukes auf [379], indem er vielmehr die Ausfurchung der Kräuselungen den Gezeitenströmungen zuschrieb. Siau im Gegenteile sah in jenen die Eindrücke des Wellenschlages [380]; dieser Autor wollte Rippungen sogar noch in 188 m Tiefe wahrgenommen haben. Auch Windrippungen sind gelegentlich zur Beobachtung gelangt [381], und hier ist die genetische Analogie mit den Dünen eine vollkommenere geworden.

Es gibt rezente und fossile Rippelmarken, die, wenn regelmässig, immer marin, anderenfalls aber wohl auch fluviatilen und äolischen (S. 620) Ursprunges sein können [382]. Bertololys umsichtige Beleuchtung des Problems von verschiedenen Seiten lässt den überaus komplexen Charakter desselben so bestimmt hervortreten, dass man zunächst darauf verzichten muss, eine einheitliche Deutung der so wesentlich abweichende morphographische Züge an sich tragenden Erscheinung erbringen zu können.

§. 10. **Morphologie der Seehäfen.** Der Unterschied zwischen gewöhnlichen Ankergründen und Rheden auf der einen, wirklichen Häfen auf der anderen Seite war, wie der sogenannte „Periplus“ des Skylax ausweist [383], bereits den Alten und ihren Lotsenbüchern geläufig. Nachdem wir vorstehend alle Verhältnisse der Küstenbildung zu verstehen getrachtet haben, können wir uns wohl zum Schlusse berufen fühlen, die natürlichen Bedingungen guter Häfen zu prüfen, wobei künstliche Schutzbauten — Madras, Havre de Grâce — selbstredend ausser Ansatz bleiben. Ein solches Unternehmen ist nur zu betrachten als natürliche Fortführung von Neubers Versuch [384], die Meeresbuchten überhaupt als geographische Individuen aufzufassen. Drei genetische Systeme, der Rubrizierung stehen zur Diskussion.

a) System von Krümmel. Dieser Autor unterscheidet [385] Einbruchshäfen (Rio de Janeiro, San Francisco, Yokohama), zu denen auch die Inselhäfen (das phönikische Tyrus, Alexandria, Insel Wight mit Southampton und Brighton) gehören; Fluss- oder Mündungshäfen (Hamburg, Montevideo, Buenos Aires) und endlich die seltenen Verbauungshäfen. Häfen in Deltas haben geringeren Wert, als solche in Aestuarien.

b) System von v. Richthofen [386]. Als Norm der Einteilung dienen die Küstentypen (§. 1). Die vier Hauptkategorien sind: I. Buchthäfen, II. Wallhäfen, III. Inselhäfen, IV. Fluthäfen. Unter Typus I fallen die Fjord- und Riashäfen (S. 590), welch letztere sich wieder in Riasstromhäfen (Smyrna, Swatau), Riasbuchthäfen (Nagasaki, Ferrol, Toulon) und Riasinselhäfen (Macao, Hongkong) gliedern, ferner die Thalmuldehäfen (San Francisco, Bocche di Cattaro, Sebenico, Lussin piccolo, nach Fabricius' Beschreibung [387] mutmasslich auch die in jüngster Zeit so viel genannte Suda-Bay auf der vielumstrittenen Insel Kandia), die Limanhäfen (Philadelphia, Baltimore) und die vulkanisch entstandenen Bayhäfen. Als speziellste Abart letzterer Gattung erblicken wir die Kraterhäfen (Insel St. Paul; I, S. 401). Wallhäfen (II) finden sich in Haffen, Lagunen, Strandseen — z. B. Porto Alegre in der Patos-Lagune — und vor allem, wie bei Cuba, unter dem Schutze von Korallenbauten. Die dritte Hauptklasse ist dadurch bestimmt, dass (Afrika, Peru) die Möglichkeit einer Hafenbildung ausschliesslich auf einer vorgelagerten Insel beruht, und die Fluthäfen (IV) sprechen ihr Wesen schon in ihrem Namen aus. Auch Mischtypen fehlen nicht; Gibraltar z. B. kann mit gleichem Rechte als Bucht- und Wallhafen angesprochen werden.

c) System von Shaler [388]. Man hat zu sondern: Deltahäfen (New Orleans), Mündungshäfen mit langsam positiver Strandbewegung (Delaware und Chesapeake-Bay), Fjordhäfen, durch Faltung entstandene tektonische Thalhäfen, Ablagerungshäfen (Long Island), Lagunenhäfen, Haken- oder Nehrungshäfen (etwa das Putziger Wiek bei Danzig), Kraterhäfen und die in den tropischen Meeren häufigen Korallenriffhäfen.

Unterzieht man diese Kategorien vergleichender Betrachtung, so zeigt sich, dass Shalers Einteilungsmethode, so wenig sie des Interesses entbehrt, doch etwas zu sehr auf nordamerikanische Verhältnisse zugeschnitten ist, um einer bequemen Verwendung für die ganze Erde teilhaftig werden zu können. Am umfassendsten ist ohne Zweifel das System v. Richthofens ausgebildet, welches übrigens mit demjenigen Krümmels (s. o.) in gewissen fundamentalen Punkten zu einer gewissen Uebereinstimmung gebracht werden kann.

[1] Penck, Morphologie der Erdoberfläche, II, Stuttgart 1894, S. 546 ff. — [2] Hettner, Die Typen der Land- und Meeresräume, A., LXIV, S. 440 ff., 457 ff. — [3] v. Richthofen, Führer für Forschungsreisende, Berlin 1886, S. 292 ff. — [4] Philippson, Ueber die Typen der Küstenformen, insbesondere der Schwemmlandküsten, R. F., I. — [5] v. Richthofen, a. a. O., S. 298 ff. — [6] Philippson, a. a. O., S. 9. — [7] Ebenda, S. 35 ff. — [8] F. G. Hahn, Bemerkungen über einige Aufgaben der Verkehrsgeographie und Staatenkunde, Z. w. G., V, S. 114 ff., 237 ff., 340 ff. — [9] v. Richthofen, S. 304 ff. — [10] Ebenda, S. 306. — [11] Penck, a. a. O., II, S. 566. — [12] v. Richthofen, S. 309. — [13] Klöden, Ueber das Sinken der dalmatischen Küsten, A. P. C., XLIII, S. 361 ff. — [14] v. Lasaulx, Aus Irland, Bonn 1878, S. 86 ff. — [15] v. Richthofen, S. 312. — [16] C. Ritter, Vorlesungen über allgemeine Erdkunde, Berlin 1862, a. v. St. — [17] Penck, II, S. 550. — [18] Ratzel, Anthropogeographie oder Grundzüge der Anwendung der Erdkunde auf die Geschichte, I, Stuttgart 1882, S. 230. — [19] L. v. Buch, Reise durch Norwegen und Lappland, II, Berlin 1810, S. 299. — [20] E. Träger, Die Halligen der Nordsee, Stuttgart 1892. — [21] Der deutsch-französische Krieg 1870—71, redigiert von der kriegsgeschichtlichen Abteilung des Grossen Generalstabes, II, Berlin 1875, S. 1307 ff. — [22] Penck, II, S. 485. — [23] Bornhöft, Der Greifswalder Bodden, Greifswald 1885, S. 54. — [24] Ackermann, Beiträge zur physischen Geographie der Ostsee, Hamburg 1883, S. 84. — [25] Kohl, Reisen in Südrussland, II, Dresden 1841, S. 63 ff. — [26] Penck, II, S. 651. — [27] Philippson, Der Peloponnes, Berlin 1892, S. 511. — [28] Weidemüller, Die Schwemmlandküsten der Vereinigten Staaten von Nordamerika, Leipzig 1894. — [29] Hahn, a. a. O., S. 346. — [30] v. Richthofen, S. 312 ff. — [31] Ebenda, S. 314. — [32] Penck, II, S. 569, 579. — [33] Ebenda, II, S. 549. — [34] Lyell, Principles of Geology, I, London 1872, S. 508 ff.; Ch. Darwin-Carus, Geologische Bemerkungen über Südamerika, Stuttgart 1878, S. 19 ff. — [35] Penck, II, S. 497. — [36] Maw, Notes on the comparative Structure of Surfaces produced by subaërial and marine Denudation, G. M., 1866, S. 439 ff. — [37] Penck, II, S. 600. — [38] Limpricht, Die Strasse der Dardanellen, Breslau 1892. — [39] Philippson, Bosporus und Hellespont, G. Z., IV, S. 22. — [40] Élie de Beaumont, Leçons de géologie pratique, I, Paris 1845, S. 332. — [41] Krümmel, Ueber Erosion durch Gezeitenströme, P. G. M., XXXV, S. 129 ff. — [42] Penck, II, S. 515. — [43] J. Milne, Ice and Ice-Work in New-Foundland, G. M., 1876, S. 303 ff. — [44] Goebeler, Ueber die mechanischen Wirkungen des Wassereises, V. G. E. B., XVIII, S. 176 ff. — [45] G. Hartmann, Der Einfluss des Treibeises auf die Bodengestalt der Polargebiete, W. V. V. E. L., I, S. 186 ff. — [46] Bessels, Die amerikanische Nordpolexpedition, Leipzig 1879, S. 93. — [47] Hartmann, a. a. O., S. 194 ff. — [48] Rzehak, Durch Eis verursachte Erosionen an den Ufern der Baie des Chaleurs, A., LVII, S. 960. — [49] Hartmann, S. 82 ff. — [50] Hind, Ice-Work in Labrador, N., XXIII, S. 569 ff. — [51] J. Geikie, The Scenery of Scotland viewed in Connection with its Physical Geology, London 1865, S. 39 ff. — [52] F. G. Hahn,

Inselstudien; Versuch einer auf orographische und geologische Verhältnisse gegründeten Einteilung der Inseln, Leipzig 1883, S. 131 ff. — [53] v. Richthofen, S. 336 ff. — [54] Penck, II, S. 463 ff. — [55] Ebenda, II, S. 489. — [56] Ramsay, The Physical Geology and Geography of Great Britain, London 1876, S. 496 ff. — [57] Geikie, On Modern Denudation, T. G. S. G., 1868, S. 153 ff. — [58] Penck, II, S. 491. — [59] Maw, On Watersheds, G. M., 1866, S. 344 ff. — [60] Wynne, On Denudation with Reference to the Configuration of the Ground, ebenda, 1867, S. 3 ff. — [61] v. Richthofen, S. 342. — [62] Hahn, S. 119 ff. — [63] J. Walther, Allgemeine Meereskunde, Leipzig 1893, S. 63 ff. — [64] Adams von Bremen Hamburgische Kirchengeschichte, nach der Ausgabe der Monumenta Germaniae übersetzt von Laurent, Berlin 1850, S. 192. — [65] Hahn, S. 139. — [66] Guthe-Wagner, Lehrbuch der Geographie, II, Hannover 1883, S. 539. — [67] Lappenberg, Ueber den ehemaligen Umfang und die alte Geschichte Helgolands, Hamburg 1830. — [68] K. M. W. Wiebel, Die Insel Helgoland; Untersuchungen über deren Grösse in Vorzeit und Gegenwart vom Standpunkt der Geschichte und Geologie, Hamburg 1848. — [69] Danckwerth, Newe Landesbeschreibung der zwey Herzogthümer Schleswich und Holstein, Husum 1652. — [70] Geerz, Geschichte der geometrischen Vermessungen und der Landkarten Nordalbingiens vom Ende des XV. Jahrhunderts bis zum Jahre 1859, Berlin 1859, S. 31 ff. — [71] Lauridsen, Kartografen Johannes Mejer, Kopenhagen 1888. — [72] Ruge, Besprechung hiezu, P. G. M., L. B., XXXV, S. 10 ff. — [73] G. Schneider, Ueber die frühere Grösse der Insel Helgoland, A., LVII, S. 27 ff. — [74] Tittel, Die natürlichen Veränderungen Helgolands und die Quellen über dieselben, Leipzig 1894. — [75] J. Walter, a. a. O., S. 61 ff. — [76] Lorenzen, Neue Forschungen über die Geologie Helgolands, Gl., LXVI, S. 60 ff. — [77] Tittel, a. a. O., S. 31 ff. — [78] Schwahn, Die Nordseeinsel Helgoland, H. E., VI, S. 534 ff. — [79] Sjögren, Om skandinaviska block och diluviala bildningar på Helgoland, Stockholm 1883; Tittel, S. 97. — [80] Tittel, S. 105. — [81] Wiebel, a. a. O., S. 205. — [82] R. Credner, Die Moënfahrt der Geographischen Gesellschaft zu Greifswald am 4. bis 6. Juni 1895, Greifswald 1895, S. 6 ff. — [83] Ebenda, S. 11 ff. — [84] Lipsius, Helgoland, Leipzig 1892. — [85] Tittel, S. 110 ff. — [86] Ebenda, S. 142. — [87] Wiebel, S. 199 ff. — [88] Ebenda, S. 211. — [89] E. Lindemann, Die Nordseeinsel Helgoland in topographischer, geschichtlicher, sanitärer Beziehung, Berlin 1890. — [90] Tittel, S. 118 ff. — [91] Walther, S. 66. — [92] Tittel, S. 155. — [93] v. Richthofen, S. 336 ff. — [94] Ch. Darwin, Monograph of Pedunculated and Sessile Cirrhipedia, London 1851—53. — [95] v. Richthofen, S. 343 ff. — [96] Ebenda, S. 345 ff. — [97] Philippson, Verteilung der Strandgerölle an den Küsten der Insel Rügen, S. N. G. N. H., 1892, S. 63 ff. — [98] v. Richthofen, S. 348 ff. — [99] Cialdi, The Movement of the Sea, viewed in hydraulic Relation to Ports and Shores, M. P. J. C. E., XLVII, S. 364 ff. — [100] Penck, II, S. 477 ff. — [101] Redman, The East Coast between the Thames and the Wash, M. P. J. C. E., XXIII, S. 186 ff. — [102] Penck, II, S. 480. — [103] Régy, Mémoire sur l'amélioration de la Méditerranée, A. P. C., 1863, S. 209 ff. — [104] Geikie, a. a. O., S. 39. — [105] Hibbert, Description of the Shetland Islands, Edinburgh 1822. — [106] F. Loewe, Alte und neue Versuche über Reibung und Kohäsion von Erdarten, München 1872. — [107] v. Richthofen, S. 356. — [108] Penck, I, S. 241 ff. — [109] Seneca, Naturales Quaestiones, lib. III, cap. 26; Nehring, Die geologischen Anschauungen des Philosophen Seneca, II, Wolfenbüttel 1873, S. 16. — [110] Günther, Wissenschaftliche Bergbesteigungen in älterer Zeit, J. G. G. M., XV, S. 59. — [111] v. Richthofen, S. 135 ff. — [112] Penck, Die Denudation der Erdoberfläche, Wien 1887; S. V. V. n. K., XXVII, S. 431 ff. — [113] Supan, Grundzüge der physischen Erdkunde, Leipzig 1896, S. 341. — [114] Thoulet, Expériences synthétiques sur l'abrasion des roches, C. R., CIV, S. 381 ff. — [115] Kretschmer, Die physische Erdkunde im christlichen Mittelalter, Wien-Olmütz 1889 (P. G. A., IV, 1), S. 120 ff., 127 ff. — [116] Tittel, S. 85. — [117] Plate, Die Insel Juan Fernandez, V. G. E. B., XXXIII, S. 221 ff. — [118] Jiriczek, Die Fär-Öer, D. R. G. St., XV, S. 21 ff. — [119] v. Richthofen, China; Ergebnisse eigener Reisen und darauf gegründeter Studien, II, Berlin 1882, S. 766 ff. — [120] Ramsay, Physical Geography and Geology of Great-Britain, London 1864, S. 140 ff. — [121] Penck, Morphol. etc., II, S. 489 ff. — [122] v. Richthofen, Führer etc., S. 354 ff. — [123] v. Richthofen, China, II, S. 130. — [124] Cornet-Briart, Sur le relief du sol en Belgique après les temps paléozoiques, A. S. G. B., 1877, S. 71 ff. — [125] Philippson, Ueber die Typen etc., S. 16 ff. — [126] Ebenda, S. 18. — [127] Dana, Report on the Geology of the Pacific, Philadelphia 1849 (U. S. Exploring Expedition under the Command of Charles Wilkes, X), S. 675 ff. — [128] Peschel, Neue Probleme der vergleichenden Erdkunde, Leipzig 1881, S. 9 ff.; Peschel-Leipoldt, Physische Erdkunde, I, Leipzig 1884, S. 495 ff. — [129] Dinse, Die Fjordbildungen; ein Beitrag zur Morphographie der Küsten, Z. G. E. B., XXIX, S. 189 ff. — [130] Ch. Darwin-Carus, Reise eines Naturforschers um die Welt, Stuttgart 1893, S. 236. — [131] Dana, On Changes of Level in the Pacific Ocean, A. J. S., XV, S. 157 ff. — [132] v. Hochstetter, Neu-Seeland, Stuttgart 1863, S. 33. — [133] Fricker, Antarktis, Berlin 1898, S. 108 ff. — [134] Dinse, a. a. O., S. 195. — [135] Hahn, Inselstudien, S. 140 ff. — [136] Rütimeyer, Die Bretagne; Schilderungen aus Natur und Volk, Basel 1883, S. 126 ff. — [137] C. Ritter, Die Erdkunde im Verhältnis zur Natur und Geschichte des Menschen oder allgemeine vergleichende Geographie, XII, S. 528 ff. — [138] Hahn, S. 146 ff. — [139] Ratzel, Ueber Fjordbildungen an Binnenseen, nebst allgemeinen Bemerkungen über die Begriffe Fjord und Fjordstrasse und die nordamerikanischen Küstenfjorde, P. G. M., XXVI, S. 387 ff. — [140] Remmers, Untersuchung der Fjorde an der Küste von Maine, Halle a. d. S. 1891. — [141] Ratzel, a. a. O., S. 395 ff. — [142] Dinse, S. 206 ff. — [143] Penck, Glaziale Bodengestaltung, A., LV, S. 373 ff. — [144] Ratzel, Physikalische Geographie und Naturcharakter der Vereinigten Staaten von Nord-amerika, München 1878, S. 144. — [145] Dinse, S. 215 ff. — [146] Peschel-Leipoldt, a. a. O., I, S. 480. — [147] Dinse, S. 225 ff. — [148] A. Heim, Ueber die Erosion im Gebiete der Reuss, J. S. A., XIV, S. 371 ff. — [149] Dinse, S. 229. — [150] E. Richter, Geomorphologische Beobachtungen aus Norwegen, S. A. W., M. N., CV, 1, S. 174 ff. — [151] J. S. G. Wilson, A bathymetrical Survey of the chief Pertshire Lochs, Sc. G. M., VIII, S. 251 ff. — [152] Dinse, S. 284. — [153] Oppel, Landschaftskunde; Versuch einer Physiognomik der gesamten Erdoberfläche, Breslau 1884, S. 35 ff. — [154] Reise im südwestlichen Patagonien von J. T. Rogers und E. Ibar, P. G. M., XXVI, S. 47 ff. — [155] Ch. Darwin-Carus, a. a. O., S. 250. — [156] A. Weiss, Die Alands-Inseln, D. R. G. St., XVIII, S. 193 ff. — [157] Ratzel, Phys. Geogr. etc., S. 150. — [158] E. Suess, Die Entstehung der Alpen, Wien 1875, S. 92. — [159] Penck, II, S. 572. — [160] Peschel-Leipoldt, S. 515. — [161] L. v. Buch, a. a. O., I, S. 195 ff. — [162] Peschel, a. a. O., S. 19 ff. — [163] Kjerulf, Islands Vulkanlinien, Z. d. G. G., XXVIII, S. 203 ff. — [164] Ramsay, On the glacial Origin of certain Lakes in the Switzerland, Q. J. G. S., 1862, S. 185 ff. — [165] Helland, Die glaziale Bildung der Fjorde und Alpenseen in Norwegen, A. P. C., LXVI, S. 538 ff. — [166] De Mortillet, Carte des anciens glaciers du versant italien des Alpes, A. S. J. s. n., 1861, S. 44 ff. — [167] Peschel, S. 28. — [168] Tyndall, In den Alpen, Braunschweig 1872, S. 209 ff. — [169] A. Müller, Ueber Thalbildung durch Gletscher, A. P. C., CLII, S. 480 ff. — [170] Penck, Die Vergletscherung der deutschen Alpen, ihre Ursachen, periodische Wiederkehr und ihr Einfluss auf die Bodengestaltung, Leipzig 1882, S. 368 ff. —

[171] Ebenda, S. 430. — [172] v. Drygalski, Ein typisches Fjordthal, R. F., II, S. 43. — [173] Kjerulf, Norges forherskende Fjeld- og Spräkkesystemer, Christiania 1876. — [174] Penck, Norwegens Oberfläche, A., LV, S. 190 ff. — [175] Gurlt, Ueber die Entstehung der Fjorde, M. G. N. H., 1874, S. 143 ff. — [176] v. Drygalski, a. a. O., S. 49. — [177] Ebenda, S. 51. — [178] Oyen, Isbraestudier i Jotunheimen, Christiania 1892. — [179] E. Richter, a. a. O., S. 185 ff. — [180] Geikie, The Great Ice Age, London 1891, S. 781 ff. — [181] v. Ammon, Geologische Uebersichtskarte der Gegend von München, J. G. G. M., XV, S. 304. — [182] Penck, Die Vergletscherung etc., S. 179. — [183] C. Gruber, Das Gleissenthal, A., LVI, S. 76 ff., 81 ff. — [184] Rütimeyer, a. a. O., S. 23 ff. — [185] Umlauft, Eine neue Theorie zur Erklärung der Fjordbildung, D. R. G. St., V, S. 228 ff. — [186] Rittau, Die neue Theorie zur Erklärung der Fjordbildung, ebenda, V, S. 292. — [187] K. Vogt, Nordfahrt entlang der norwegischen Küste, Frankfurt a. M. 1863, S. 403 ff. — [188] Brögger, Ueber die Bildungsgeschichte des Kristianiafjordes, IV. M. IV., 1866, S. 99 ff. — [189] v. Drygalski, Grönland-Expedition der Gesellschaft für Erdkunde zu Berlin 1891—1893, I, Berlin 1897, S. 44. — [190] Ebenda, I, S. 42. — [191] Peschel, S. 13 ff. — [192] Hann, Handbuch der Klimatologie, III, Stuttgart 1897, S. 476 ff. — [193] P. Lehmann, Kritischer Exkurs über Peschels Morphologie der Erdoberfläche, V. G. E. B., X, S. 101. — [194] Steffen, Beiträge zur Topographie und Geologie der andinen Regionen von Llanquihue, R. F., X, S. 337. — [195] Rink, On den geografiske beschaffenhed af de danske handelsdistricter i Nord-Gronland tilligened on udsigt over Nord-Gronlands Geognosi, D. V. S. S., 1852, S. 37 ff. — [196] Die Nordpolreisen Adolf Erik Nordenskiölds 1858 bis 1879, Leipzig 1880, S. 147 ff. — [197] Weule, Beiträge zur Morphologie der Flachküsten, Z. w. G., VIII, S. 211 ff. — [198] Prestwich, On the Origin of the Chesil-Bank, M. P. J. C. E., XL, S. 60 ff. — [199] Penck, Morphol. etc., S. 561. — [200] Kohl, a. a. O., S. 63 ff. — [201] Ackermann, a. a. O., S. 32 ff. — [202] Nettelbeck-Haken, Eine Lebensbeschreibung, Leipzig 1845, S. 231 ff. — [203] Goetz, Die Verkehrswege im Dienste des Welthandels, Stuttgart 1888, S. 544. — [204] Sable Island, A. a. W., 1893, S. 194 ff. — [205] Krümmel, Ueber Erosion etc., S. 131. — [206] Oppel, Neu-Guinea, D. G. Bl., XVI, S. 20 ff. — [207] Eilker, Die Sturmfluten der Nordsee, Emden 1876. — [208] Francke, Die nordfriesischen Inseln vormals und jetzt, G., IX, S. 648 ff.; Weigelt, Die nordfriesischen Inseln vormals und jetzt, eine Skizze des Landes und seiner Bewohner, Hamburg 1873. — [209] Blink, Nederland en zijne Bewoners, II, Amsterdam 1892, S. 415 ff. — [210] Tacitus, Annales, lib. II, cap. 8; Plinius, Historia naturalis, lib. IV, cap. 2—5; Pomponius Mela, De situ orbis, lib. III, cap. 2. — [211] Blink, a. a. O., II, S. 419. — [212] H. Berger, Geschichte der wissenschaftlichen Erdkunde der Griechen, IV, Leipzig 1893, S. 79 ff. — [213] Eilker, a. a. O., S. 19. — [214] Blink, I, S. 464. — [215] Arends, Physische Geographie der Nordseeküste und deren Veränderungen durch Sturmfluten, II, Emden 1825, S. 192 ff.; Dekker, Die Sturmfluten vom 3. und 4. Februar 1825 und ihre Verheerungen in Ostfriesland nebst Nachrichten über frühere und spätere Fluten, Emden 1892. — [216] R. Hansen, Die Küstenveränderungen im nordwestlichen Schleswig, P. G. M., XXXIX, S. 177 ff. — [217] Jensen, Die Nordfriesischen Inseln, Hamburg 1891. — [218] Traeger, a. a. O., S. 100 ff. — [219] Traeger, Antikritische Bemerkungen, die Halligen betreffend, A., LXV, S. 622 ff. — [220] R. Credner, Die Insel Rügen, Stuttgart 1893. — [221] Ebenda, S. 96. — [222] Ebenda, S. 115 ff. — [223] Deecke, Ein Versuch zur Erklärung der Oderbucht, Z. d. G. G., XLV, S. 563 ff. — [224] Quandt, Ueber die Verluste der pommerschen Küste an die Ostsee, B. St., IV, S. 1 ff. — [225] J. Girard, Considérations sur les transformations litorales, B. S. G., 1878, I, S. 452 ff. — [226] Peacock, Sinkings of Land on the North and West Coasts of France and South-West Coasts of England, London 1862. — [227] Weule, a. a. O., S. 217 ff. — [228] Th. Fischer, Zur Entwickelungsgeschichte der Küsten, P. G. M., XXXI, S. 409 ff. — [229] Weule, S. 221. — [230] Güttner, Geographische Homologien an den Küsten, M. V. E. L., 1894, S. 39 ff. — [231] Cialdi, Sul moto ondoso del mare e su le correnti di esso, specialmente su quelle litorali, Rom 1866. — [232] Güssfeldt-Pechuel-Lösche, Die Loango-Expedition, III, 1, Leipzig 1882. — [233] Mellard Reade, Tidal Action as an Agent of Geological Change, P. M., 1888, S. 338 ff. — [234] Fischer, a. a. O., S. 417 ff. — [235] Lenthévic, Les villes mortes du golfe de Lyon, Paris 1879. — [236] Avienus, Ora maritima, V. 576 ff. — [237] Philippson, a. a. O., S. 14, 16. — [238] Strabon-Grosskurd, a. a. O., I, S. 367 ff. — [239] Kovatsch, Die Versandung von Venedig und ihre Ursachen, Leipzig 1882. — [240] Keller, Die Versandung der Lagunen von Venedig, H., II, S. 220 ff.; Studien über die Gestaltung von Sandküsten, Z. B., XXXI, S. 189 ff., 301 ff., 411 ff. — [241] St. Fischer, Die Schicksalswege des italienischen Rheins (Reno), M. G. G. W., XXXI, S. 65 ff. — [242] Peschel-Leipoldt, I, S. 476 ff. — [243] Forchhammer, Ueber die Entstehung und Veränderung der Marschen, F. N. St. Mg., I. — [244] J. Kohl, Die Marschen und Inseln der Herzogtümer Schleswig und Holstein, Leipzig 1846. — [245] Senft, Die Marschbildungen, XVI, S. 13 ff., 79 ff. — [246] Ebenda, S. 19. — [247] Ebenda, S. 86 ff. — [248] v. Fritsch, Neuere Erfahrungen über den geognostischen Aufbau der Erdoberfläche, W. G. J., IX, S. 485. — [249] Geerz, a. a. O., S. 243 ff. — [250] Blink, I, S. 44. — [251] Ebenda, II, S. 65 ff. — [252] Amersfoort, Het Haarlemmermeer, sorsprong, geschiedenis, drookmaking, Amsterdam 1856. — [253] van Ertborn, Déssèchement de Zuiderzee, B. S. G. A., XIX, S. 58 ff. — [254] Muschketow-Merena, Die Kontinental-Sanddünen oder Barchane, D. R. G. St., XII, S. 147 ff. — [255] Sokolow, Die Dünen (russisch), St. Petersburg 1884; Sokolow-Arzruni, Die Dünen-Bildung, Entwickelung und innerer Bau, Berlin 1894. — [256] v. Richthofen, S. 350 ff., 443 ff. — [257] Penck, II, S. 38 ff. — [258] Kretschmer, S. 123 ff. — [259] La composizione del modo di Ristoro d'Arezzo; testo italiano del 1282 pubblicato da E. Narducci, Rom 1859, S. 85 ff. — [259] Günther, Hylokinese, die Vorläuferin der terrestrischen Morphologie, B. G., III, S. 19 ff. — [260] A. Girard, Les oeuvres mathématiques de Simon Stevin de Bruges, Leiden 1634, S. 129 ff. — [261] E. Reclus, La terre, II, Paris 1869, S. 250 ff. — [262] Peschel-Leipoldt, I, S. 485 ff. — [263] Blink, II, S. 168 ff. — [264] Senfft, Im Reiche des Sandes, G., XV, S. 83. — [265] Bouthillier de Beaumont, Note sur la formation des dunes, A. s. p. n., 1886, S. 383 ff. — [266] Zobrist, Les dunes; réfutation des théories de M. Bouthillier de Beaumont, Neuchatel 1888. — [267] K. J., III, S. 156 ff.; Penck, II, S. 41. — [268] Ebenda, S. 46 ff. — [269] Grandidier, Madagaskar, B. S. G., 1871, S. 86 ff. — [270] Parrau, Observations sur les dunes littorales en Algérie et en Tunisie, B. S. Gl., (3) XVIII, S. 245. — [271] Ch. T. Fischer, De Hannonis Carthaginiensis periplo, Leipzig 1893, S. 39 ff. — [272] Blink, II, S. 171. — [273] Desbiey, Mémoire sur l'origine des sables de nos côtes, sur les funestes incursions vers l'intérieur des terres et les moyens d'en arrêter les progrès, Bordeaux 1776. — [274] Grandjean, Historique de la fixation des dunes, B. S. C. B., (2) XIX, S. 238 ff. — [275] V. Maack, Die Dünen Jütlands, Z. f. E., (2) XIX, S. 198. — [276] P. Lehmann, Pommerns Küste von der Dievenow bis zum Darss, Breslau 1878; Das Küstengebiet Hinterpommerns, Z. G. E. B., XIX, S. 373 ff. — [277] Foss, Die preussischen Ostseeküsten, Z. f. E., (2) XI, S. 247 ff. — [278] Sohncke, Wandernde Berge, Vortrag, gehalten 1876 in der litterarischen Gesellschaft zu Karlsruhe; Gemeinverständliche Vorträge aus dem Gebiete der Physik, Jena 1892, S. 209 ff. — [279] Bezzenberger, Die Kurische Nehrung und ihre Bewohner, Stuttgart 1888. — [280] Uhl, Das Wandern der Dünen, A. a. W., 1892, S. 198 ff. —

[281] Keilhack, Die Wanderdünen Hinterpommerns, Pr., V, S. 102 ff. — [282] Schwahn, Ein Blick auf die Sandwogen der Kurischen Nehrung, H. E., VII, S. 262 ff. — [283] P. Lehmann, Das Küstengebiet etc., S. 370. — [284] Sohncke, Gemeinverst. Vortr. etc., S. 216. — [285] Schumann, Geologische Wanderungen durch Altpreussen, Königsberg i. Pr. 1869, S. 66. — [286] Penck, II, S. 49. — [287] Steenstrup, Das Wandern der Dünen, D. R. G. St., XIX, S. 416 ff. — [288] Kretschmer, S. 128. — [289] Girard-Stevin, a. a. O., S. 131 ff. — [290] Peschel-Leipoldt, I, S. 493. — [291] Grandjean, Les travaux de fixation des dunes, B. S. C. B., (2) XIX, S. 289 ff. — [292] Ebenda, S. 310. — [293] Blink, III, S. 57. — [294] v. Hoepfner, Der Krieg von 1806 und 1807, IV, Berlin 1851, S. 543 ff. — [295] Ebenda, III, S. 481. — [296] v. Richthofen, China, II, S. 471; Führer etc., S. 275, 281, 435. — [297] Penck, I, S. 259. — [298] Schwahn, S. 264. — [299] Kant-F. W. Schubert, Schriften zur physischen Geographie, Leipzig 1839, S. 522. — [300] Supan, S. 424. — [301] v. Richthofen, Führer etc., S. 82 ff. — [302] Penck, II, S. 523 ff. — [303] K. Goebel, Pflanzenbiologische Schilderungen, I, Marburg i. H. 1889, Nr. 2. — [304] A. F. W. Schimper, Die indomalayische Strandflora, Jena, 1891. — [305] Weinland, Westindische Inselbildung durch Rhizophora Mangle, N. J. M. G. P., 1860, S. 213. — [306] Hahn, S. 175 ff. — [307] Ratzel, Phys. Geogr. etc., S. 137 ff. — [308] Shaler, On the Influence of Organic Life upon the North-American Harbours, A. R. U. S. G. S., XIII, 2, S. 146 ff. — [309] v. Lehnert, Ueber Landbildungen im Sundagebiete, D. R. G. St., V, S. 56. — [310] Pechuël-Lösche, Das Kuilugebiet, P. G. M., XXIII, S. 10. — [311] D'Albéa, Le Dahomey en 1894, B. S. G., 1895, S. 196. — [312] H. Fischer, Ueber einige Gegenstände der physischen Geographie bei Strabo, Wernigerode 1878, S. 8 ff. — [313] Penck, II, S. 617. — [314] Lorenz v. Liburnau, Physikalische Verhältnisse und Verteilung der Organismen im Quarnerischen Golfe, Wien 1863, S. 32. — [315] Buchanan, On the Land-Slopes separating Continents and Ocean-Basins, Sc. G. M., III, S. 217 ff. — [316] Thoulet, Sur le mode de formations des bancs de Terre-Neuve, C. R., CIII, S. 104 ff. — [317] v. Richthofen, S. 414. — [318] Ch. Darwin, On the Power of Icebergs to make rectilinear uniformly directed Grooves across a submarine undulatory Surface, P. M., 1855, S. 196 ff. — [319] V. G. E. B., XXXIII, S. 19 ff.; K. J., VII, S. 251. — [320] Ackermann, S. 50 ff. — [321] Ebenda, S. 55 ff. — [322] H. Berger, III, S. 65. — [323] Ochsenius, Ueber die Bildung von Barren in Hinsicht auf deren geologische Bedeutung, Z. p. G., II, 5. u. 6. Heft. — [324] v. Sonklar, Allg. Orogr., S. 161 ff. — [325] R. Credner, Die Deltas, ihre Morphologie, geographische Verbreitung und ihre Entstehungsbedingungen; eine Studie auf dem Gebiete der physischen Erdkunde, P. G. M., E. H. Nr. 56, S. 5. — [326] Penck, II, S. 497 ff. — [327] Krümmel, Besprechung zu Credner, G. G. A., 1879, I, S. 203 ff. — [328] van der Wyk, Vermutungen und Beobachtungen über die Ausmündung des Rheinstromes im Weltmeere, N. J. M. G. P., 1838, S. 256 ff. — [329] Skelford, On Rivers flowing into Tideless Seas, illustrated by the River Tiber, M. P. J. C. E., LXXXII, S. 2 ff. — [330] Guieysse, De la propagation des marées dans les rivières, C. R. A. F., 1875, S. 258 ff. — [331] Weehler, Bars at the Mouths of Tidals Estuaries, M. P. J. C. E., C, S. 116 ff. — [332] Penck, II, S. 500. — [333] Ebenda, II, S. 504. — [334] H. Berger, I, S. 122 ff. — [335] v. Hoff, I, S. 229. — [336] Élie de Beaumont, Leçons etc., I, S. 253 ff. — [337] Tylor, On the Formation of Deltas, Gl. M., IX, S. 137 ff. — [338] Peschel, Die Deltabildungen der Ströme, A., XXXIX, S. 457 ff.; N. Probl. etc., S. 122 ff. — [339] Lyell, Principles etc., I, S. 412 ff. — [340] Penck, II, S. 510 ff. — [341] Wimmer, Historische Landschaftskunde, Innsbruck 1885, S. 23 ff. — [342] Philippson, S. 14 ff. — [343] Herodot, lib. II, cap. 10. — [344] Wimmer, S. 30 ff. — [345] Lombardini, Dei cangiamenti cui soggiacque l'idraulica condizione del Po nel territorio di Ferrara, G. J. L., III, S. 287 ff.; IV, S. 3 ff. — [346] Ponzi, The Tiber and its Delta, M. P. J. C. E., XLIII, S. 356 ff. — [347] Cold, Küstenveränderungen im Archipel, Marburg i. H. 1886, S. 36. — [348] Ebenda, S. 41 ff. — [349] v. Jankó, Das Delta des Nil, M. J. U. G. A., 1890, S. 233 ff. — [350] R. Credner, a. a. O., S. 12. — [351] Ebenda, S. 25. — [352] Ebenda, S. 35. — [353] Guppy, The Banks of the Yang-tzse at Hankow, N., XXIII, S. 50 ff. — [354] Doyle, Deltaic Growth, N., XIX, S. 506. — [355] Kjerulf-R. Lehmann, Einige Chronometer der Geologie, Berlin 1880. — [356] C. Vogt, Lehrbuch der Geologie und Petrefaktenkunde, II, Braunschweig 1871, S. 105. — [357] Strabon, lib. XVII, cap. 1. — [358] R. Credner, S. 18. — [359] Tylor, a. a. O., S. 485 ff. — [360] C. Ritter, Die Erdkunde etc., II, I, S. 83. — [361] Benndorf-Niemann, Reisen in Lykien und Karien, Wien 1884, S. 118. — [362] Ackermann, S. 75 ff. — [363] Guy De Contenson, Les inondations dans les plaines du Tien-Tsin, B. S. G. 1874, S. 1 ff. — [364] Penck, I, S. 345 ff. — [365] Zöppritz, Die Fortschritte etc., S. 28; Desor, Sur les deltas torrentiels anciens et modernes, Nizza 1880. — [366] Credner, S. 31. — [367] Ebenda, S. 74 ff. — [368] Krümmel, a. a. O., S. 223. — [369] Penck, II, S. 509. — [370] Bertololy, Rippelmarken, Frankenthal 1894. — [371] Ueber die Bildung der Wellenfurchen im Sande, Nr., XVII, S. 94. — [372] G. H. Darwin, On the Form of Ripplemark in Sand, N., XXIX, S. 163 ff. — [373] M. C. De Candolle, Rides formées à la surface du sable déposé au fond de l'eau et autres phénomènes analogues, A. s. p. n., (3) IX, S. 241 ff. — [374] Forel, Les rides de fond étudiées dans le Lac Leman, ebenda, (3) X, S. 39 ff. — [375] Hunt, On te Formation of Ripplemark, P. R. S., XXXIV, S. 1 ff. — [376] v. Boguslawski-Krümmel, Handbuch der Ozeanographie, II, Stuttgart 1887, S. 33. — [377] Bertololy, a. a. O., S. 33 ff. — [378] Lyell, I, S. 566 ff. — [379] Beete Jukes, Manual of Geology, London 1886, S. 172. — [380] Bertololy, S. 62 ff.; Siau, De l'action des vagues à de grands profondeurs, A. C. P., II, S. 118 ff. — [381] Bertololy, S. 102 ff. — [382] Ebenda, S. 107. — [383] Wimmer, S. 26. — [384] Neuber, Die Bedeutung der Meeresbuchten, D. R. G. St., XIII, S. 193 ff., 254 ff. — [385] Krümmel, Die Morphologie der Seehäfen, V. G. E. B., X, S. 94 ff. — [386] v. Richthofen, S. 315 ff. — [387] E. Fabricius, Die Insel Kreta, G. Z., III, S. 369. — [388] Shaler, Bildung und geologische Geschichte der Seehäfen, Z. p. G., II, S. 76 ff.

Kapitel III.

Charakteristik und Klassifikation der Inseln.

§. 1. **Morphologische Versuche aus früherer Zeit.** Mit dem Worte Insel ist an sich, wie wir oben erwähnten (S. 379), noch wenig gesagt; ein Objekt wissenschaftlicher Betrachtung wird die Insel erst dann, wenn man sie unter den morphologischen Gesichtspunkt bringt, wenn man nach der Art ihrer Entstehung fragt, wenn man zwischen verschiedenen Inseln, die vielleicht auf der Landkarte sehr ähnlich sehen, Unterschiede ausfindig macht. Wenn man, wie dies z. B. Zimmermann that [1], apodiktisch ausspricht, was über 100000 Quadratmeilen — etwa 5500000 qkm — gross ist, nennen wir Festland, was darunter, das nennen wir Insel, so ist mit solch willkürlicher Festsetzung ersichtlich gar nichts geleistet. Wohl aber kann man versuchen, diejenigen Inseln, welche die gleichen oder doch verwandte Entstehungsbedingungen bekunden, aufzusuchen und in Gruppen zu ordnen; der genetischen Küstentafel, mit deren Aufstellung das vorige Kapitel begann, kann eine genetische Inseltafel zur Seite gestellt werden.

Der erste Schriftsteller, der Unterscheidungsmerkmale dieser Art aufsuchte, war, wie H. Fischer darlegt [2], der stets das genetische Prinzip betonende Strabon; für ihn gab es nur Hochseeinseln, welche er sich durch vulkanische Kräfte aus der Tiefe gehoben dachte, und Küsteninseln, welche nach seiner Auffassung ein Durchbruch des Wassers vom Festlande losgelöst hatte. Die Systematiker der Erdkunde, welche seit dem XVII. Jahrhundert häufiger wurden, liessen es gleichfalls an Versuchen in dieser Richtung — freilich zunächst nach halb unbewussten — nicht fehlen; so ist namentlich Merula [3] zu nennen, den Philippson [4] als Vorläufer des Varenius geachtet wissen will. Dieser erstere lässt allerdings den Inseln, als einem selbständigen Objekte der allgemeinen Erdkunde, ihr volles Recht noch nicht zu teil werden, obwohl er in der That mit einer Klassifikation der geographischen Begriffe und exakteren Definitionen einen Versuch macht; um so mehr aber thut dies gewiss Varenius [5], und Humboldt rechnet ihm seine „Studien über Inselverteilung“ zu besonderem Lobe an [6]. Bald nach Varenius trat ein Nürnberger Gelehrter, Wülfer, mit einer Schulrede [7] hervor, welche als ernsthafter Versuch zu einer Systematik dieser geographischen Gebilde anzuerkennen ist. Alle Nachrichten über Flutdurchbrüche und Landabtrennungen werden sorgfältig gesammelt, und der Autor sieht auch, wie vor ihm Columbus [8], in den Antillen die Reste einer zerstörten Landbrücke zwischen Nord- und Südamerika, indem er die Vermutung ausspricht [9], „infinitas quoque alias Mexicani sinus insulas cum coeteris majoribus Cuba, Jamaica etc. unam continentem olim constituisse“. Es verdient bemerkt zu werden, dass sich auch Kepler eine ganz ähnliche Anschauung betreffs der Malediven im Indischen Ozean gebildet hatte [10], dieselben sollten Bruchstücke eines grossenteils untergegangenen Kontinentes (s. u. in §. 4) sein. Auch die vulkanischen Inseln („insulae ignivomae“) bilden bei Wülfer eine eigene Kategorie. Zum Schlusse, nachdem er die wichtigeren Inseln aufgezählt, wendet sich Wülfer [11] noch gegen die mythischen Inseln, mit welchen die Phantasie der Kartenzeichner den Atlantischen Ozean bevölkert hatte, und speziell gegen den Archipel „Frislandia“, der zwischen Schottland und Island eingelagert sein sollte. Ueber die Entstehung dieser Fabelwelt, welche sogar bei den arabischen Geographen als Reslanda spukt [12], gibt v. Nordenskiölds Aufsatz [13] „Ueber die Reise der Gebrüder Zeno und die ältesten Karten über den Norden“ nähere Auskunft, und auch Ruge behandelt [14] die Sage als ein nicht unwichtiges Moment in der Vorgeschichte der Entdeckung einer Neuen Welt.

Nachdem fortan die Inseln zwar niemals aus den Lehrbüchern der allgemeinen Geographie fortgelassen, aber doch auch nicht eben einer besonders

gründlichen Beachtung gewürdigt worden waren, brach mit Wallaces Schriften [15], mochte in ihnen auch das zoogeographische Interesse obenanstehen, eine neue Zeit für die sich nunmehr entwickelnde Inselkunde an. Peschels geistvolle Abhandlung [16] über die Genese der Meeresinseln, welche später in sein Hauptwerk [17] aufgenommen wurde, beruhte grossenteils auf den durch Wallace in unsere Wissenschaft hineingetragenen Ideen. Später hat dann Hahns Monographie [18] unser einschlägiges Wissen vortrefflich zusammengefasst, und als geeigneter Führer wird sie auch von denen anerkannt, welche in systematischer Beziehung andere Wege zu gehen für notwendig halten.

§. 2. **Schwimmende Inseln.** Als selbständige Klasse führt Wülfer (s. o.) auch die „insulae natantes" auf. Man möchte in dieser Betonung einer doch allermindestens überaus seltenen Erscheinung eine Schrulle erblicken, wenn nicht eben doch auf Binnengewässern solche schwimmende oder treibende Inseln, wenn auch nur gelegentlich, wirklich anzutreffen wären. Wir haben uns aber in allen bisherigen Kapiteln der sechsten und siebenten Abteilung die Freiheit genommen, auch gewisse Vorkommnisse, welche den Seen eigentümlich zu sein scheinen, thatsächlich aber auch dem Meere nicht fremd sind, jetzt schon einheitlich darzustellen, so dass nicht eine Zerreissung zusammengehöriger Materien platzgreift. Da es nun wirklich schwimmende Meeresinseln gibt, so möge gleich an dieser Stelle die ganze Angelegenheit erledigt werden. Aus älterer Zeit liegt eine systematische Zusammenfassung unseres Wissens auf diesem Gebiete von Munz [19] vor, und den modernen Standpunkt kennzeichnet Frühs [20] gedrängte, wohl nur als Einleitung zu ausführlicherer Behandlung zu betrachtende Studie.

Wenn Kant [21] meinte, die von ihm wesentlich richtig aufgefassten schwimmenden Inseln kämen „fast allein nur in Landseen" vor, so wollte er damit offenbar sagen, gelegentlich könnten sie wohl auch einmal im Meere sich zeigen. Und damit hatte er recht. Durch die amerikanischen „Pilot Charts" (S. 536) wurde man mit einer schwimmenden Meeresinsel bekannt, über welche Ochsenius [22] einen Bericht abgestattet hat (vgl. S. 498). Von der nordamerikanischen Küste war durch den Wellenschlag ein grosses Stück Waldland abgerissen und in die Bahn der atlantischen Meeresströmung getrieben worden; sie mass etwa 1000 qm und fiel durch ihr hohes Gestrüpp weithin ins Auge. Nachstehend sind die geographischen Koordinaten einiger Punkte ihres Weges angegeben:

Beobachtungstag	Nördliche Breite	Westliche Länge
28. Juli 1892	39° 30′	60° 0′
26. August 1892	41° 9′	57° 39′
19. September 1892	45° 29′	42° 39′

In 7½ Wochen hatte die Insel den stattlichen Weg von einem ziemlich weit westlich vorgeschobenen Orte bis beinahe zu den Azoren zurückgelegt. Nachher hat man nichts mehr von ihr vernommen; die Oktoberstürme haben ihr wahrscheinlich ein Ende gemacht, wie denn schon Kant (s. o.) das Dasein solcher Inseln ein „prekäres" genannt hatte.

Im allgemeinen unterscheidet Früh (s. o.) phytogene (S. 621) und minerogene Treibinseln, als welch letztere allerdings nur die uns aus Kap. VI der sechsten Abteilung bekannten Eisberge und Eisschollen angeführt werden. In Flüssen gibt es schwimmende Wald- und Grasinseln; solche sind auch auf Seen wohl denkbar,

doch hat man es in diesem Falle zumeist mit Stücken vertorften Ufersaumes zu thun, welche sich von diesem losrissen und, weil ihr spezifisches Gewicht ein relativ geringes ist, vom Wasser getragen werden. Natürlich fallen auch sie zumeist baldiger Vernichtung anheim.

Das Flusswasser unterspült nicht selten das Uferland, wie dies Penck [23] als eine natürliche Konsequenz der nordamerikanischen Swamplandschaft (Swamp-Sumpf) schildert. „Es entstehen schwimmende Wälder, welche gelegentlich forttreiben können und als schwimmende Inseln sich im Flusse bewegen, bis sie irgendwo festfahren, den Fluss verbarrikadieren und denselben einen neuen Weg einzuschlagen nötigen. Derartige schwimmende Waldinseln, welche zuweilen auch auf der unteren Weser vorkommen, sind als Snags oder Sawyers (Snag-Höcker, Sawyer-Säger) am Mississippi ziemlich häufig.“ Wir werden mehreres im vierten Kapitel der achten Abteilung von ihnen auszusagen haben, wenn wir zu den Flussinseln überhaupt kommen. — Flüsse, deren Ufer mit Hochgrasvegetation bestanden sind, wie dies für die meisten Wasserläufe des Gebietes vom Weissen Nil, aber auch für ungarische Flüsse zutrifft, sind der Schauplatz der von Marno [24] beschriebenen Grasinseln. Förmliche Grasbarren sammeln sich in den Nilgewässern im Bereiche der lateral den Flusslauf begleitenden Maye — Stauwasserbezirke, seitliche Erweiterungen des Flussbettes —, und wenn dann in der Regenzeit das Wasser steigt, so löst es Teile der verfilzten Grasmasse flottierend ab, welche durch Wind und Wellen fortgetrieben werden, hiedurch die Schiffahrt aufs höchste belästigen und zuletzt, wieder festgeworden, die ebenfalls in jenem Kapitel zu besprechenden Grasbarrièren bilden.

Die Torfinseln, wie wir kurz sagen wollen, definiert Munz (s. o.) ganz treffend: „Insulae natantes sunt in lacubus terrestres, ex varia levioris et viscosae materiae miscella aggregatae, portiones, quae a vento hinc inde agitatae, nullo loco firmae fixaeque sunt.“ Herodot, Seneca, Plinius und Macrobius thäten solcher Inseln öftere Erwähnung, und Pomponius Mela habe eine solche am Ausflusse der Garonne ins Meer gesehen. Zuverlässiger sei die Nachricht von einem „Schwimmbruch“ bei Gerdauen in Ostpreussen. Kant nennt auch den See Bamtin, welcher solche Inseln trage, und Keilhack [25] bestätigt, dass es dergleichen auf den baltischen Seen gibt. Andere Belege citiert Munckes Lexikon-Artikel „Sumpf“ [26]; Schottland und Irland besässen schwimmende Moore, und noch merkwürdiger seien Inseln auf dem Ralängen-See in Schweden und auf dem Dervant-See in England, die oft längere Zeit unter dem Wasser verborgen blieben, dann aber plötzlich in die Höhe kämen. Als mutmassliche Ursache wird postuliert die Entwickelung von Kohlenwasserstoffgas aus den vermodernden Wurzelfasern, welche die Dichte der Masse vermindere und diese zeitweilig zum Aufsteigen bringe. So denkt auch Munz [27] entweder an eine „pinguis materia“, welche vom Grunde aufwärts strebe und sich nachher erst mit Pflanzenwuchs bedecke, oder auch an „pumex“, der auf dem Seeboden wachse und vielleicht durch einen Erdstoss losgelöst werde. Vielleicht haben dann und wann auch Waldinseln, wie sie Hahn [28] vom Ganges, Kongo, Amazonas, Paraná und von der Molukken-See beschreibt, ihre Lostrennung dem Vertorfungsprozesse der Küsten- und Uferränder zu danken.

Ein sehr interessantes Beispiel schwimmender Moore ist uns durch Mac Millan [29] bekannt geworden; er nennt sie — ein aus den späteren Darlegungen dieses Kapitels sich ableitendes Wort gebrauchend — Sphagnum-Atolle (Sphagnum, Torfmoos) und charakterisiert sie als ringförmige Moorbezirke, welche sich beim Steigen des sie durchdringenden Wassers ablösten, und welche dann mit allem, was sich darauf befand, in die Höhe gehoben wurden, bis nachmals wieder eine Landverfestigung stattfindet. Indessen braucht man sich nicht auf amerikanischen Boden zu begeben, um schwimmendes Moorland dieser Art zu sehen, vielmehr findet es sich, wie wir von Kohlenberg [30] erfahren, auch an der unteren Weser. Nächst der bekannten Malerkolonie Worpswede finden wir solchen Wiesengrund, ein ehemaliges Hochmoor mit abgetorfter oberer Schicht. Gegen Weihnachten, wenn Hochwasser eintritt, gegen dessen unmittelbare Wirkungen die Häuser — ähnlich wie auf den Halligen (S. 591) — durch Erbauung auf hohen Sandwarten geschützt werden, steigt alles Land, Wald, Acker und Heide, in die Höhe, zum Beweise, dass es thatsächlich schwimmt. Dieses Schwimmland wirkt gewissermassen wie ein Ueberschwemmungspegel. Die Büsche werden mitunter so hoch emporgetrieben, dass die stabileren Wohnungen unter ihnen verschwinden, und wenn ab und zu ein Stück Wald abgetrennt wird,

so schwimmt er fort und bildet, wie oben erwähnt, eine Treibinsel auf der Weser. Fig. 128 gibt ohne weitere Erklärung ein Bild des Auftriebes, der dann besonders stark wird, wenn das die ganze Moormasse durchtränkende Wasser gefriert und damit das spezifische Gewicht des Gesamtkörpers vermindert wird. Jedes von benachbartem Flusswasser infiltrierte Moor kann sich bei günstiger Sachlage in eine flottierende Insel verwandeln.

Widerrechtlich nimmt Munz auch die schwimmenden Inseln der chinesischen Binnenseen in seine Kategorienbildung hinüber. Wenn, wie Huc und Gabet sehr anschaulich machen [31], der chinesische Landmann, um dem übervölkerten Lande zu entrinnen, ein Bambusgeflecht aufs Wasser legt, dasselbe mit Humus bedeckt und sein ganzes Leben auf solchem Fahrzeuge verbringt, so gewährt dies gewiss einen trüben volkswirtschaftlichen Ausblick; es kommt aber diese Thatsache für die physische Geographie nicht weiter in Betracht. Nach Früh [32] findet man auf dem Barchet-See bei Winterthur schwimmende Rasenflächen in Menge, welche regelmässig abgemäht werden. Auch bei den alten Azteken soll es „schwimmende Gärten“ gegeben haben.

Fig. 128.



§. 3. **Das biologische Klassifikationsprinzip.** Indem wir uns jetzt zu den echten Meeresinseln zurückwenden, welche sich dadurch von den soeben betrachteten unterscheiden, dass sie durch einen stabilen Sockel mit dem Meeresgrunde zusammenhängen, erhebt sich für uns die Frage: Nach welchen Kriterien vollziehen wir die Einordnung verwandtschaftlich zusammengehöriger Inseln in Gruppen? Nach Wallace hat Peschel [33] gewisse Grundsätze dieser Einteilung aufgestellt, welche zunächst ganz unanfechtbar erscheinen, obwohl man gleich anfangs ihm hätte entgegenhalten können, dass eine einwurfsfreie genetische Inselcharakteristik auch dann noch zu Recht bestehen bleiben müsse, wenn mit einem Schlage alle Lebewesen von der Erde vertilgt würden. Müssen diese Regeln doch schliesslich ihre Geltung auch in hohen arktischen und antarktischen Gebieten beibehalten, welchen höher entwickelte Organismen gänzlich fehlen. Immerhin hat die Anwendung der Biologie (βίος, Leben) auf die Lehre von den Inseln so viele Anregung gebracht, dass diese Durchgangsphase unserer Erkenntnis nicht unbesprochen bleiben darf.

Man kann den Inhalt der Denkweise, von welcher namentlich Peschel sich leiten liess, in kurzem so kennzeichnen: Begegnet man auf einer Insel einer Organismenwelt von völlig selbständigem Charakter, so liegt es nahe, der ersteren auch eine maritime Entstehung oder doch einen schon in alter Zeit gelösten Zusammenhang mit dem Festlande zuzuschreiben; weisen dagegen die insularen Organismen verwandtschaftliche Züge mit denen eines mehr oder minder benachbarten Kontinentes auf, so ist an eine erst in jüngerer Vergangenheit erfolgte Lostrennung der Insel von diesem Kontinente zu denken. Man wies mit Genugthuung darauf hin, dass es Wallace [34] auf solchem Wege gelungen sei, die wahre Grenzlinie zwischen Indien und Australien festzulegen; dieselbe sollte zwischen den beiden Sunda-Inseln Bali und Lombok hindurchgehen. Allein Supan weist nach [35], dass der rein faunistische Beweis weder geologisch noch auch floristisch die Probe bestehe, und dass echt indische Formen sogar bis Neu-Guinea vorgedrungen sind, die Charakterzüge der dortigen Tierwelt verändernd [36]. Gleichwohl soll nicht geleugnet werden, dass die Betrachtung der Lebewesen sekundär von grossem Werte sein kann. So hat gewiss Peschel [37] nicht unrecht, wenn er mit Rücksicht auf die dort ganz fehlenden Frösche die Selbständigkeit der

Insel Anticosti, dem kanadischen Festlande gegenüber, bis zur silurischen Periode (S. 332) in der paläozoischen Aera zurückführt. Junge Inseln, wie die pazifischen Korallenbauten, können nur durch Luft- und Meeresströmungen die Keime animalischer oder pflanzlicher Bewohnerschaft zugeführt erhalten haben, wenn man nicht auch an schwimmende Inseln (s. o.) denken will. Noch mächtiger wirkt freilich Einschleppung durch den Menschen; so hat die auf europäischen Schiffen nach Neu-Seeland gekommene englische Ratte die heimische Art vollständig ausgerottet. Wenn St. Helena in seinem Pflanzenkleide an das doch ziemlich weit entfernte Kapland erinnert, so brauchen wir bloss einen Blick auf die Strömungskarte (S. 498) zu werfen, um das begreiflich zu finden [38]. Kleine, vom Festlande abgelöste Inseln werden gewöhnlich artenarm sein, während grössere, wie Island, ihren Bewohnern mehr distante Zufluchtstätten gewähren und deshalb auch einen grösseren Artenreichtum aufweisen können [39]. Wenn die britischen Inseln in Fauna und Flora sich von Westeuropa so gut wie gar nicht unterscheiden, so liegt die Annahme nahe, dass die Bildung des Kanales in die geologische Gegenwart fällt, und umgekehrt legt die eigenartige Tierbevölkerung Madagaskars ein Zeugnis dafür ab, dass diese auch sonst ihre Selbständigkeit dokumentierende Insel schon ungemein lange nicht mehr mit dem Körper Afrikas zusammenhängt, von dem sie doch nur durch eine nicht sehr breite — wiewohl tiefe — Meeresstrasse geschieden ist. Sehr nützlich hat sich das biologische Klassifikationsprinzip für die Galápagos im Grossen Ozean erwiesen, wie aus der methodisch und historisch belehrenden Abhandlung von G. Baur [40] geschlossen werden kann.

Die Inselgruppe, deren Besonderheit zuerst Darwins Reisebeschreibung [41] aufdeckte, und die neuerdings durch De la Espada [42] eine monographische Behandlung erfuhr, gilt gewöhnlich als Typus einer vulkanisch gebildeten Hochseeinsel, welche mit dem südamerikanischen Festlande niemals das geringste zu thun gehabt habe. Aufs entschiedenste hat sich der jüngere Agassiz, wie aus seinem litterarischen Kampfe [43] mit Baur hervorgeht, in diesem Sinne ausgesprochen, und auch ein Kenner, wie Th. Wolf [44], bezeichnet den Archipel als eines der schönsten Beispiele rein vulkanischer, durch submarine Aufschüttung von Eruptivstoffen erfolgten Inselbildung (vgl. I, S. 402). Das Motiv, welches Baur bei Aufstellung einer hiervon abweichenden Hypothese leitete, war die für so weltabgeschiedene Eilande (s. o.) ganz auffällige Artenzersplitterung. Jedes Inselchen beherbergt nur eine bestimmte Art der Eidechsengattung Trepidurus, wie ähnliches schon früher für die dortigen Landschildkröten erkannt worden war; der gleiche Nachweis glückte für die Vögel, insbesondere für die Gattung Nesonimus, und überhaupt sah sich Baur in den Stand gesetzt, eine merkwürdig harmonische Verteilung der sämtlichen Organismen zu konstatieren, welche, wenn die Gruppe nach und nach vom Festlande her besiedelt worden wäre, unmöglich sich herausbilden konnte. Nach Baurs Ansicht hing das jetzt in die Galápagos zersplitterte Land ursprünglich mit dem damals weit grösseren Zentralamerika zusammen, und nachdem durch positive Meeresverschiebung die Trennung eingetreten war, begann der Prozess der Differentiierung in Spezies und Varietäten, die sich um so weniger von einander unterscheiden, je weniger weit die betreffenden Inseln von einander entfernt sind. Auch die von Agassiz besonders ins Gefecht geführten Tiefenverhältnisse geben keinen zwingenden Gegengrund ab.

Noch ein anderer Beleg dafür möge angeführt werden, dass das erwähnte Prinzip hodegetisch von Nutzen sein kann (ὁδός, Weg; ἡγεῖσθαι, führen). Peschel war [45], teilweise allerdings durch Andeutungen früherer Forscher bestimmt, zu einer Ueberzeugung gelangt, welcher er folgenden Ausdruck verlieh: „Im Indischen Ozean, also im Süden und im Osten der Alten Welt, muss ehemals ein grösseres Festland gelegen haben, das sogenannte Lemuria oder die Heimat der Halbaffen. Zu ihm gehörten Madagaskar, die granitischen, jetzt sinkenden Seychellen, die Malediven, Ceylon; ja, es mag sich vielleicht bis zu den Kreeling-Inseln oder noch weiter östlich erstreckt haben.“ Damit war in gewissem Sinne der alte Atlantis-Mythus (I, S. 3) zum Leben erweckt, dem, wie sich das geographische Lehrgedicht des Rudolf von Hohenems ausdrückt [46], „der buochmaister Plâtô“ durch seinen „Timaeus“ ein gewisses Gewicht beigelegt, und den, wie Clarkes geschichtlich-kritische Untersuchung [47] darthut, die Folgezeit gerne mit Amerika in Verbindung gebracht hatte. Mit Beziehung auf die von Krümmel [48] näher festgestellte Verteilung der Meerestiefen im Indischen Ozean focht Hahn [49] die Peschelsche Konstruktion eines grossenteils verschwundenen tertiären Erdteiles an, und auch Wallace [50] erklärte die zoologischen Beweis-

gründe nicht für durchschlagend, weil es Lemuren auch im alttertiären Europa und Nordamerika gab, so dass deren Verbreitung eben ehemals eine weit ausgedehntere war, als sie es in der Jetztzeit ist. Allein Stow [51] und Blanford [52] haben, indem sie eine überraschende Uebereinstimmung gewisser Versteinerungsfolgen in Südafrika und Vorderindien aufzeigten, diese Frage in ein ganz neues Fahrwasser gebracht, und Suess' [53] sorgfältige Abwägung der für und wider sprechenden Argumente hat jedenfalls nicht gegen die Hypothese des Erdteiles Lemuria entschieden, mit welcher sich auch Neumayr [54] einverstanden erklärt hat.

Wir glauben uns nunmehr befähigt, ein begründetes Urteil über die biologische Methode der Aufstellung einer genetischen Inseltafel abzugeben. Wollte man sich lediglich auf sie stützen, wie dies ein gewisser Enthusiasmus für die gewaltigen Fortschritte der Biogeographie anstrebte, so würde man zu ganz unsicheren Ergebnissen geführt werden, weil allzuviele unkontrollierbare Umstände die Pflanzen und Tiere bei der Aufsuchung einer neuen Heimat beeinflussen können. Wohl aber kann die stete Rücksicht auf die Verteilung der Organismen die wertvollsten Hilfen gewähren, wenn nur daran festgehalten wird, dass auf solche Weise gewonnene Einsichten immer der Bestätigung durch rein geologische Schlussfolgerungen bedürfen. Die Inselkunde kann aufgefasst werden als ein Bestandteil jener geographisch-geologischen Disziplin, welche man Paläogeographie (Geographie der Länder in geologischer Vorzeit) genannt hat, und welche uns im I. Kapitel der achten Abteilung als ein Teil des Systemes wieder begegnen wird.

Eine Vorahnung davon trat uns bereits (I, S. 9) entgegen in gewissen unvermuteten Spekulationen der Kirchenväterzeit [55] über Landbrücken zwischen entlegenen, durch Meer getrennten Gebieten; solche Verbindungen müssten bestanden haben, da ja doch dieselbe Tierart nicht als zweimal erschaffen angesehen werden könne. Aus sehr verschiedenen Beweggründen ist die neueste Zeit solchen Erwägungen auch ihrerseits näher getreten, und Forschungen von der Art, wie man sie v. Ihering [56] und Kobelt [57] verdankt, haben die physische Erdkunde mächtig gefördert.

§. 4. **Die genetischen Inselsysteme der Neuzeit.** Unbeschadet der relativen Bedeutung, welche wir somit dem biologischen Leitprinzipe zuzugestehen hatten, „kann man ihm doch“ — mit v. Richthofen [58] — „trotz seiner Wichtigkeit und seines hohen Interesses das gleiche Recht für die Klassifizierung von anorganischen Formgebilden nicht zuerkennen.“ Man muss vielmehr versuchen, genetische Inseltypen auf morphologischer Basis aufzustellen, und wenn wir uns in der Litteratur umsehen, welche seit der Mitte des XVIII. Jahrhunderts entstand, so erkennen wir leicht diesen Gesichtspunkt als den beherrschenden. Gemeiniglich wird anzunehmen sein, dass die genetische Einteilung zugleich auch eine morphographische sein wird, denn eine abweichende Art der Entstehung wird sich vielfach auch in den äusseren Formen, in der horizontalen und vertikalen Gliederung, wiederspiegeln. Blosses Kartenstudium reicht freilich niemals hin, um eine endgültige Entscheidung zu treffen.

In seinem Essay [59] „Von der Entstehung der Inseln“ stellt J. R. Forster einerseits die tropischen den ektropischen, andererseits die „hohen“ den „niedrigen“ Inseln gegenüber. Rittaus Analyse [60] macht es wahrscheinlich, dass Forster als Glieder seines Systemes Koralleninseln, vulkanische Hebungsinseln und Festlandbruchstücke betrachtet wissen wollte, wie dies auch der Auffassung eines anderen

weitgereisten Naturforschers, A. v. Chamissos [61], entsprach. — Auch Buffon unterschied [62] grundsätzlich die Hochseeinseln rein marinen Ursprunges von den Küsteninseln, indem er ersteren eine rein plutonische Entstehungsart vindizierte. Von den Korallenbauten, die in §. 5 und 6 betrachtet werden, und die hier einstweilen eben nur als Inseln des freien Meeres auftreten, wusste der berühmte französische Naturhistoriker noch nicht viel. — L. v. Buch war [63] der Meinung, dass die langgestreckten und runden Inseln gleichzeitig auch geologische Typen seien, und dass erstere mehr auf Abtrennung vom Festlande, letztere mehr auf maritime Bildung hinweisen. — Schon wesentlich modern ist Fr. Hoffmanns Standpunkt [64], den auch Kapp teilt [65]; Kontinentalinseln haben viele Eigenschaften mit dem mütterlichen Festlande gemein, während die pelagischen Inseln entweder hoch — und dann vulkanisch gehoben — oder niedrig — und dann von Korallentieren aufgeführt sind. — Wallace will [66] die Kontinentalinseln in ältere — von tieferem Meere umgebene — und in jüngere — in der Flachsee gelegene — geschieden wissen, wogegen die Ozeaninseln weit vom nächsten Festlande entfernt sind und von diesem durch ein allenthalben tiefes Meer getrennt werden. — Die Einteilung Ratzels [67] verfolgt einen anderen Zweck, da dieser Geograph den Inseln nicht um ihrer selbst willen, sondern wegen ihrer Bedeutung für die menschlichen Geschicke seine Aufmerksamkeit widmet. Die Inseln sind ihm so teils selbständige, teils unselbständige Landkomplexe.

Als ein besonderes Problem haben die Geographen die Inselcharakteristik erst in den letzten Jahrzehnten aufgefasst. Peschel ging voran [68]; ihm folgten A. Kirchhoff [69], v. Richthofen [70], Hahn [71], Supan [72], Penck [73]. Wir werden diese sämtlichen Kategorienbildungen, welche sich, wie es ja gar nicht anders sein kann, mannigfach berühren müssen, gesondert erläutern und auf Grund der vollzogenen Durchsicht zu einer eklektischen Formulierung zu gelangen suchen.

a) Peschel. Wie v. Richthofen (s. o.) bemerkte, ist dieses System mit demjenigen Hoffmanns so gut wie identisch, d. h. eine weitere Ausführung desselben. Es gibt Inseln, die niemals Festland waren, und Bruchstücke früherer und noch bestehender Kontinente.

b) Kirchhoff. Wenden wir die tabellarische Darstellung an, so können wir die zwei Haupt- und fünf Unterklassen leicht übersichtlich vorführen. Die Einteilung ist nämlich diese:

I. Festländische Inseln.	II. Ursprüngliche Inseln.
a) Abgliederungsinseln.	a) Submarin entstandene vulkanische Inseln.
b) Restinseln.	b) Aufschüttungsinseln.
	c) Nichtvulkanische Hebungsinseln.

Die Korallengebäude gehören zu II, b; was Rubrik II, c anlangt, so sind darunter hoch ansteigende Partien im Grunde eines seichten Meeres zu verstehen, welche durch negative Bewegung der Wasserlinie trockengelegt werden können.

c) v. Richthofen. Die drei grossen Abteilungen sind die der Kontinentalinseln, parasitischen Inseln und Schwemminseln. Die parasitischen Inseln sind so benannt, weil [74] „ihre Existenz überall schmarotzerhaft“ erscheint. Unter Beziehung auf die in Kap. II, §. 1 definierten Ausdrücke wird die weitere Klassifikation wie folgt durchgeführt:

I. Kontinentalinseln.

α) Unselbständig.	β) Selbständig.	
a) Abgliederungs-	a) Randständige	Inseln.
1. Rias-	b) Binnenständige	
2. Abtrennungs-	c) Aussenständige	
3. Fjord-		
4. Liman-		
b) Bruch-		

II. Parasitische Inseln.	III. Schwemminseln.
α) Vulkanische Inseln.	α) Schlamm- und Sandinseln.
β) Koralleninseln.	β) Phytogene Inseln.

Mehrere dieser Bezeichnungen sind neuartig und können ohne Kommentar nicht verstanden werden. Von Abgliederung spricht man, wenn das Meer in die Hohlformen des Landes eingedrungen ist. Abtrennungsinseln charakterisieren den dalmatischen Typus; sie waren ehemals Halbinseln, und als die positive Strandverschiebung fortschritt (S. 573), kam die Landverbindung unter Wasser. Einbruch einer Kontinentalmasse gibt Anlass zur Entstehung von Bruchinseln. Nach Sarasin [75] ist die sonderbare Gestalt der Insel Celébes darauf zurückzuführen, dass letztere einen Ueberrest des zusammengebrochenen australasiatischen Kontinentes repräsentiert, und ebenso erklären Neumayr und Philippson [76] die Kykladen als Trümmer eines versunkenen, ausgedehnten Landgebietes, welches sich dereinst zwischen Griechenland und Vorderasien ausbreitete, während jetzt nur noch drei submarine, stark mit Inseln besetzte Schwellen die frühere Zusammengehörigkeit markieren. So ist auch die adriatische Küste, welche Italien in der späteren Tertiärzeit begrenzte, grossenteils niedergebrochen, verrät aber ihr einstiges Vorhandensein durch die Pelagosa-Inseln [77]. — Randständige Inseln verlaufen den Faltungsgebirgen der benachbarten Küste parallel und sind, wie die zuerst von Krause in dieser ihrer Eigenart erkannten ostasiatischen Inselguirlanden [78] (I, S. 407), meist sehr vulkanreich; binnenständige Inseln — Sardinien, Korsika, Borneo — entbehren der bogenförmigen Anordnung; aussenständige endlich — Madagaskar, Zeylon, Falklands-Inseln, Süd-Georgien, Tasmanien — „sind Fragmente der Kontinente, welche ausserhalb des Areales der letzteren liegen, aber nicht deren aufgerichtete Ränder darstellen". — Die übrigen Formen sind durch die Namen ausreichend gekennzeichnet. Schwemminseln sind z. B. nach Stache und Marchesetti die nicht felsigen Inseln — diese heissen Scoglie (Klippen) und sind abgesplitterte Festlandstücke — an der Südküste von Istrien [79]; Reste von Deltabildungen eines grossen, langsam strömenden Flusses, an dessen Existenz eben nur noch diese Ruinen seiner früheren aufbauenden Thätigkeit gemahnen.

d) Hahn. Tektonische Inseln, Erosionsinseln und Aufschüttungs- resp. Anschwemmungsinseln sollen die drei Hauptabteilungen bilden. Am wenigsten hat die erste Gruppe sich durchzusetzen vermocht, welcher Hahn sowohl die arktischen als auch die antarktischen Archipele einverleibte [80]; die Hereinziehung der vulkanisch entstandenen Inseln wurde durch den Hinweis motiviert, dass ja die eruptive Thätigkeit (I, S. 417) mit Vorliebe den grossen tektonischen Leitlinien der Erdkruste folgt. Allein so richtig das unzweifelhaft ist, so nahm man doch Anstand, Zeugen untergegangener Festländer und Vulkaninseln unter einem gemeinschaftlichen Namen zusammenzufassen. Es wird also recht wohl Sizilien als eine durch tektonische Ereignisse in die gegenwärtige Form gebrachte Insel anerkannt werden können, weil nach v. Lasaulx und Th. Fischer die Lücke der Strasse von Messina durch eine in der Tertiärzeit vor sich gegangene Schollensenkung zu erklären ist [81], während für St. Helena, welche Insel Grosser [82] auf eine durchaus vulkanische Entstehung zurückführt, die Bezeichnung tektonisch minder leicht verständlich erscheint. Zweckmässig kann man den zweiten Gruppentitel finden, wofern man als Erosion (S. 602) jedwede Art von zerstörenden Naturkräften gelten lässt, und die beiden letzten Untergruppen, die man vereinigend Neubildungsinseln benennen könnte, gestatten gleichfalls eine bequeme Anwendung auf die in der Natur vorkommenden Fälle. Eine Neubildung kann minerogen, phytogen (S. 620) und zoogen sein; die zoogenen Inseln sind hauptsächlich die Korallenbauten, obschon natürlich auch andere Modalitäten solcher Erhöhung von Land über den Meeresspiegel nicht ausgeschlossen sind. Auch die minerogenen Inseln gestatten eine Zweiteilung, welche recht deutlich ersehen lässt, dass es auf eine möglichst erschöpfende Berücksichtigung aller möglicherweise eintretenden Fälle abgesehen war. Diese Akribie wurde allseitig, auch von Denjenigen anerkannt, welche im übrigen der Systematik Hahns nicht durchweg beitraten. Von Penck [83] wurde insbesondere geltend gemacht, dass manche der unter die Erosionsinseln aufgenommenen Individuen diesen Platz nicht erhalten haben würden, wenn nicht zufällig gerade die nächste Küste einer ausgesprochen marinen Strandverschiebung unterläge.

e) Supan. Seine frühere Theorie [84] weiterführend, hält Supan an dem grossen Gegensatze fest zwischen festländischen oder Kontinentalinseln einerseits und ursprünglichen Inseln andererseits. Erstere wurden oberflächlich von der Küste abgetrennt; letztere sind vom Meeresgrunde aus gewachsen. Meereserosion und positive Spiegelbewegung sind die Vorgänge, welche bei der Entstehung der Kontinentalinseln in Betracht kommen; die ursprünglichen Inseln sind vulkanischen oder korallinen Ursprunges oder auch Hebungsinseln, d. h. Teile von Barren und Bänken, welche durch ungewöhnlich starke Sedimentation oder durch Meeresrückgang blossgelegt worden sind. So ist, wie wir hören [85], in unseren Tagen zwischen Dagö und Worms an der baltischen Küste eine neue Klippeninsel Harrilaid aufgetaucht, und an der Gangesmündung wuchs eine Sandbank in fünf Jahren so an, dass ihr den Augen zugänglicher Teil über 29 km gross wurde.

f) Penck. Als Grundmotiv erscheint auch hier die Einteilung in Kontinentalinseln und ozeanische Inseln. Erstere können Küsteninseln, selbständige Flachseeinseln und Kontinentalinseln der arktischen Stufe oder Kontinentaltafelreste sein; die Küsteninseln können ausgearbeitet oder aufgesetzt sein, letztere das Resultat der Küstenströmungen und des Riffbaus [86]. Als ozeanische Inseln verbleiben die verschiedenen Formen der korallinen Architektonik und der vulkanischen Aufschüttung.

Es soll hier nicht der Versuch gewagt werden, ein detailliert ausgearbeitetes System, gewissermassen als Extrakt vergleichenden Studiums aller schon aufgestellten Schemata, neu zu begründen; es genügt, nochmals scharf diejenigen Typen herauszuheben, welche mehr oder weniger von allen Autoren, wenn auch in verschiedener Auffassungs- und Darstellungsweise, angenommen worden sind. Vor allem ist hervorzuheben, dass jede Inselcharakteristik nur den Wert eines Momentanbildes beanspruchen darf; jede, auch die schwächste Verschiebung der Isohypse oder Isobathe Null kann bisher vorhandene Inseln zum Verschwinden bringen oder neue Inseln erzeugen. „Ozeanische Inseln gibt es“, sagt v. Ihering [87], „so gut wie nicht, von kleinsten vulkanischen u. s. w. abgesehen. Alle sind einst Festland gewesen“. Bei dieser Sachlage begnügen wir uns mit der nachstehend erläuterten genetischen Tafel, bei deren Fixierung ausdrücklich und absichtlich auf den nicht immer leicht und klar zu bestimmenden Gegensatz zwischen litoralen und ozeanischen Inseln Verzicht geleistet ward. Es bestehen also die folgenden Typen:

a) Küsteninseln, welche ihren Zusammenhang mit der nächsten Festlandküste erst in historischer Zeit oder in jüngster geologischer Vergangenheit verloren haben; Grossbritannien, die friesischen und skandinavischen Inseln, Novaja Semlja, in dessen Längsachse sich nach Hiekisch [88] das Uralgebirge fortsetzt, Feuerland.

b) Festlandtrümmer; Bruchstücke eines in jüngster geologischer Vorzeit in den Wellen verschwundenen Kontinentes. Dahin gehören (s. o.) die westindischen und ägäischen Inseln ohne die vulkanischen Bildungen Santorin, Kos und Nisyros [89], sowie die Fragmente Lemurias im Indischen Ozean; hierher auch die polaren Archipele mit gewissen Ausnahmen, wie Jan Mayen (I, S. 399), welcher alte Inselvulkan nach Mohn [90] weder mit Grönland, noch mit Island oder Spitzbergen irgendwann einmal zusammenhing. Auch Helgoland ist nach früheren Aufklärungen (S. 598) hierher zu rechnen; nicht minder Malta, welches noch vor kurzem ein Anhängsel Siziliens war

und, wie Lenz bemerkt [91], durch eine nicht erhebliche negative Küstenbewegung wieder mit ersterem zu vereinigen wäre.

Mutmasslich wäre auch die Schlangen-Insel vor dem Donaudelta einzubeziehen, weil sie nach v. Kalbermatten [92] aus festem Gesteine besteht, wogegen das gegenüberliegende Festland durchaus versumpftes Schwemmland ist, so dass die Abtrennung von der Dobrudscha nicht erst kürzlich erfolgt sein kann. Ungleich grösser als jetzt war zweifellos das tertiäre Neuholland, und Tasmanien, Neu-Seeland und Neu-Guinea — darauf weist besonders Oppel hin [93] — stehen als Eckpfeiler dieses gewaltigen Kontinentes noch jetzt vor unseren Augen.

c) **Vulkanische Inseln.** Dieselben können submarine Stratovulkane oder auch homogene Vulkane sein, indem die Wölbung des Domes, der dann natürlich der Krater fehlt (I, S. 371), sich über die Wasserfläche erhob. Als Regel muss zweifellos Aufschüttung gelten, wie sie bei Mitwirkung des Wassers sich von selbst ergeben dürfte.

Viele Aufschüttungsinseln tragen den Stempel der Kurzlebigkeit an sich. Man denke an die Ferdinandea (I, S. 405) oder an die Falken-Insel [94], welche am 14. Oktober 1885 zwischen den Tonga- und Cook-Inseln aufstieg, 1887 schon 90 m Höhe erreicht hatte, aber, da sie nach dem von der „Egeria“ 1889 aufgenommenen Befunde lediglich aus lockeren Auswürflingen (I, S. 384 ff.) besteht, bald wieder weggespült sein wird. Dauernder werden im Meere erstarrte Lavaströme sein.

d) **Sedimentationsinseln**, durch mineralischen, pflanzlichen und tierischen Detritus derart an einer an sich erhöhten Stelle einer unterseeischen Bank oder Barre aufgebaut, dass man sie zu Gesichte bekommt. Auch sie können ebenso rasch vergehen, wie sie entstanden sind.

Auf die Bildung solcher Gelegenheitsinseln, wie man auch sagen möchte, hat bereits Varenius (S. 632) angespielt [95]: „Si tanta arenae, sabuli, limi, argilli copia progressu temporis aggregeretur, ut altior evadat, quam mare, erit insula.“ Die zahlreichen Beispiele Hahns [96] beweisen, dass verschiedene Ursachen in dieser Hinsicht genau denselben Effekt hervorzubringen vermögen.

e) **Koralleninseln.** Dem Studium dieser merkwürdigen Bildungen haben wir uns nunmehr zuzuwenden.

§. 5. Allgemeines über Korallenbauten und Korallenerbauer.

Koralleninseln kannte die antike Welt nicht; dieselben lagen jenseits der damals der Erdkunde gezogenen Grenzen. Erst den Arabern war Gelegenheit gegeben, den grossen Unterschied im Anblick eines Korallenarchipels und einer gewöhnlichen Inselgruppe wahrzunehmen. Noch aber dauerte es sehr lange Zeit, bis man die Bauthätigkeit der winzigen Geschöpfe erkannt hatte, welche bald für Pflanzen, dann auch wieder für Tiere gehalten wurden und heute noch der formenreichen Klasse der Anthozoen (ἄνθος, Blüte; ζῶον, Tier) zugezählt werden. Erst die neueste Zeit hat Natur und Lebensbethätigung dieser Organismen genauer erforscht.

Dem grossen Reisenden Albîrunî fiel es auf, dass gewisse Inseln des Indischen Ozeans — Malediven-, Lakkediven-, Chagos-Archipel — eine von derjenigen der ihm sonst bekannten Hochseeinseln ganz verschiedene Physiognomie besitzen [97]. Auf gewisse Korallenbauten musste aufmerksam werden, wer das Rote und Indische Meer befuhr; der viel herumgekommene, in allen Sätteln gerechte Monconys [98] hat, wie wir von J. Walther [99] erfahren, die Riffe in den Golfen von Suez und Akabah (1630) bemerkt. Zunächst aber sah man in den Korallen, welche durch die aus ihnen im Orient und in Italien gefertigten

Schmucksachen auch in anderen Ländern bekannt wurden, schlechthin Gestein, und es lag schon ein grosser Fortschritt darin, dass die Pflanzennatur der Koralle anerkannt wurde. Wir wissen nicht genau, wann das geschah; jedenfalls lesen wir in der „Physik" des Comenius [100], nachdem von den kostbaren Steinen die Rede gewesen war, auch Koralle und Bernstein würden gewöhnlich mit aufgezählt, aber es empfehle sich doch mehr, von diesen beiden erst beim Pflanzenreiche zu sprechen. Als Pflanze galt die Koralle nun über ein Jahrhundert; der damals sehr geachtete Naturforscher Statius Müller in Erlangen trat der von Einzelnen bereits behaupteten animalischen Natur der Korallenpolypen entgegen [101], und er durfte dies auch, da des Grafen Marsigli Forschungen [102] in einem verwandten Falle mehr zu Gunsten der Auffassung als phytogene Gebilde zu sprechen schienen. Den Anstoss dazu, die bis dahin unter dem sehr vagen Gesamtnamen Polypen (πολύπους, Vielfuss; nach aristotelischer Nomenklatur bloss die sogenannten Tintenfische bezeichnend) vereinigten Organismen dem Tierreich anzugliedern, hatten Trembleys berühmte Versuche [103] gegeben, von denen die lehrreichsten uns durch Dannemanns Bearbeitung [104] näher gebracht sind. Indem jener einen solchen Polypen in mehrere Teile zerschnitt, konnte er die Entwickelung jedes Stückes zu einem neuen und selbständigen Lebewesen beobachten; die Süsswasserpolypen, so stellte er fest, fressen, verdauen, wachsen und vermehren sich durch Teilung, sind also keine Pflanzen, sondern Tiere. Jeder Zweifel an dieser ihrer Natur wurde durch die umfassenden Untersuchungen Ehrenbergs beseitigt [105], der die Korallenbildungen des Erythräischen Meeres selbst kennen gelernt und — mit den Lebensbedingungen der Tiere noch wenig bekannt — auch in ektropischen Meeren nach jenen gesucht hatte; diese selbst fand er natürlich nicht, wohl aber in Menge fossile Korallen; er wurde so Begründer der Korallen-Paläontologie [106]. Teilweise im Gegensatze zu Cuvier und Blainville, deren Anschauungen man bei Carus [107] mit denjenigen Ehrenbergs verglichen findet, betont letzterer scharf die Pflanzenähnlichkeit der Korallenstöcke, lässt aber auch den massgebenden Unterschied hervortreten, darin bestehend, dass niemals eine der scheinbaren Blüten, vom Zweige losgetrennt, Wurzel schlagen und einem neuen Baume zum Leben verhelfen kann. Auch sonderte Ehrenberg mit Bewusstsein von den eigentlichen Anthozoen die zierlicheren Bryozoen (Moostierchen), eine Abtrennung, welche die neuere Wissenschaft vollkommen ratifiziert und sogar noch schärfer gefasst hat.

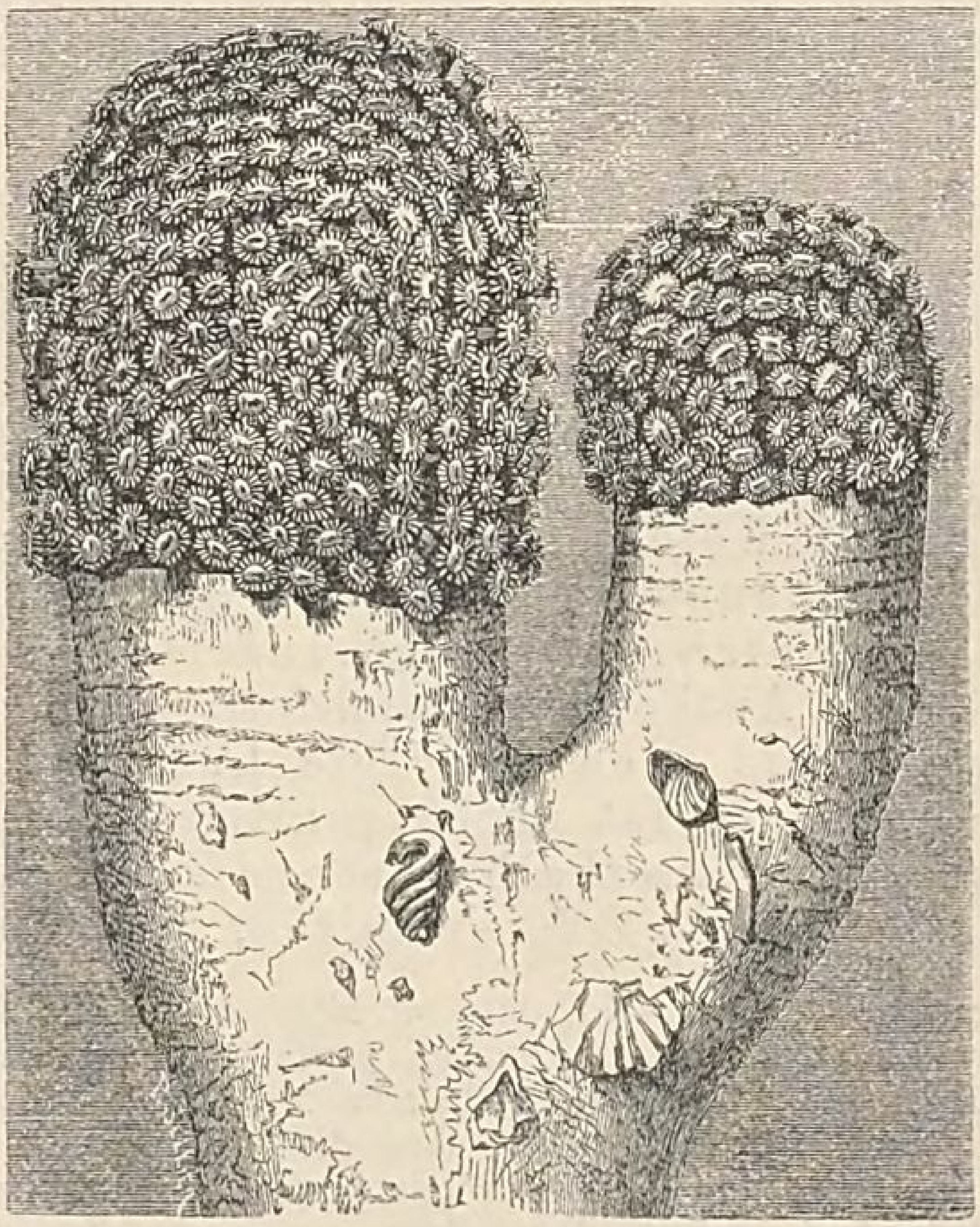
Die Zoologie unterscheidet elf Formenkreise des Tierreiches, und zwar führen dieselben, wenn wir von unten nach oben aufsteigen, die folgenden Namen: Protisten oder Protozoa (vgl. S. 412), Coelenterata (Hohltiere), Vermes (Würmer), Echinodermata (Stachelhäuter), Bryozoa (s. o.), Brachiopoda (Armfüssler), Mollusca (Weichtiere), Tunicata (Manteltiere), Arthropoda (Gliederfüssler) und Vertebrata (Wirbeltiere, d. h. Fische, Amphibien, Reptilien, Vögel und Säuger). Die Anthozoen gehören dem Kreise der Coelenteraten an; charakteristisch ist der zylindrisch hohle, den Gastrovascularraum (gemeinsamer Körperraum für Verdauung und Zirkulation) umschliessende Leib, an dessen freiem Ende sich die von Tentakeln (Fühlfäden, Fangarme) umgebene Mundöffnung befindet. Von der Leibeswand ausgehende Scheidewände oder Septen teilen jenen Raum in kongruente, einer Polygonalteilung des Querschnittkreises entsprechende Sektoren; mit letzteren stehen die hohlen Fühler in Verbindung, so dass der Nahrungsstoff sofort dem den Magen vertretenden Organe zugeführt werden kann. Die mit jener der Tentakeln korrespondierende Anzahl der Septen gestattet die Einteilung der Anthozoen in drei Ordnungen; das erwähnte Polygon kann nämlich ein Viereck, Sechseck oder Achteck sein. Die Vierstrahler oder Tetraktinier sind allerdings ausgestorben; wie jedes gute Lehrbuch der Petrefaktenkunde, etwa das von Haas [108], darlegt, sind z. B. die Rugosa fast allein in paläozoischen Schichten enthalten. Achtstrahler (Oktaktinier) und Sechsstrahler (Hexaktinier) gibt es dagegen in reicher Formenfülle, unter denen wir hier nur die Madreporia oder Steinkorallen namhaft machen wollen. — Dies ist im wesentlichen die moderne Auffassung der Korallenanatomie, wie sie in dem klassischen Werke von Milne Edwards [109] angebahnt worden ist.

Nur ausnahmsweise leben Anthozoen für sich allein (solitär); Regel ist die Vereinigung mehrerer Individuen in dem eine Kolonie darstellenden Korallenstocke. Die Leibeswand der Einzelpolypen

verkalkt, und jede solche Kalkwand vermittelt den Zusammenhang der einzelnen Glieder der Lebensgemeinschaft. Geschlechtliche Fortpflanzung ist nicht etwa ausgeschlossen, indem, wie Walther hervorhebt [110], lediglich durch sie die Bildung neuer Stöcke erfolgen kann, aber allerdings sind Teilung und Sprossung viel wichtigere Fortpflanzungsbedingungen. Die Kalkmasse, welche, durch Absonderung entstanden, die Einzelwesen des Stockes miteinander verbindet, wird Koenenchym (κοινός, gemeinschaftlich; ἐγχύμωμα, Verteilung der Säfte durch den ganzen Körper) genannt; in dem schmalen Stiele, welcher den Stock mit dem festen Untergrunde — Fels oder selbst wieder Korallenkolonie — verbindet, findet sich das Koenenchym am stärksten entwickelt vor.

In Fig. 129 sehen wir den zweiästigen Polypenstock von Goniopora columna vor uns, an den Ausläufern mit unzähligen lebenden Korallentierchen

Fig. 129.



bedeckt, während der untere Teil längst durch Absterben der Organismen in eine amorphe (d. h. ganz und gar unkrystallinische) Kalkmasse verwandelt und nur von Schaltieren besiedelt ist. Dieses Bild in der Hand, kann man Walthers (s. o.) lebensvolle Schilderung gut begreifen: „Tausende kleiner Korallentiere sprossen auseinander hervor und bilden den Korallenstock; ein feines Koenenchym verbindet die einzelnen Kelche, und das Individuum vermag seinen Standpunkt nicht zu wechseln. Wohl kann es mit Hilfe seiner zarten Tentakeln ein kleines Nachbargebiet tastend durchgreifen, aber der Nahrungserwerb kann durch solche aktive Bewegungen nicht auf verschiedenen Gebieten ausgeübt werden.“ Die zumeist schirmförmige Gestalt der Stöcke ist den Umständen besonders gut angepasst, weil sie eine grosse Oberfläche und zugleich nur geringen seitlichen Widerstand gewährt. Auch den Prozess des Absterbens bespricht Walther. In dem Masse, wie die mittleren Bestandteile völlig verkalken, siedeln sich Algen, Bryozoen (s. o.) und andere kleine Organismen an; Lithodomus (S. 565) bohrt seine Löcher in den

Stamm; Ringelwürmer nagen sich grössere Gänge im Koenenchym aus, bis allmählich der einst von eigenem Leben strotzende Korallenstock in ein von parasitären Pflanzen bewachsenes, tropfsteinartiges Gebilde übergegangen ist, dessen wahre Struktur nur noch der Querbruch erkennen lässt. Das Riff besteht aus einer Unzahl teils lebender, teils schon dem Tode verfallener Stöcke; es besitzt einen treppenförmigen Aufbau, und die bunten Korallenkolonien bilden im Vereine mit weisslichen Detritusmassen eine Art von Park, zu dessen regelmässigen Insassen auch kleine Krebse gehören. Und zwar ist diesen auch eine morphologische Rolle zugeteilt; „die Brandung vermag nur zu rollen und zu schleifen; die Krebse aber erzeugen scharfkantige Muschelbreccien und Detrituskalke und spielen somit eine wichtige Rolle am Meeresgrunde“ [111]. Der zoologische Habitus des Riffes pflegt, je nach der Entfernung vom Strande, ein verschiedener zu sein. Die Mächtigkeit der Bauten ist ebenfalls eine variable; am Golfe von Suez z. B. fand sie Walther [112] als „dünne Krusten auf submarinen Felsenzügen und gewiss nicht dicker als die fossilen Riffe, deren Mächtigkeit auf 9 m ansteigt“. So haben sich die Verhältnisse der Korallen-Symbiose (συμβίωσις, Zusammenleben) am Roten Meere gestaltet, mit welchem sich, neben Ehrenberg und Walther, unter diesem Gesichtspunkte namentlich auch Klunzinger [113] beschäftigt hat. Hier überwiegt das Flächenwachstum, anderswo das Dickenwachstum (§. 8).

Durch Ehrenberg und Darwin, der auf seiner Weltreise reichlich Gelegenheit zu Korallenstudien gehabt hatte [114], wurden die Existenzbedingungen der Korallenpolypen genauer festgestellt. Dieselben lassen sich in wenigen Thesen folgendermassen zusammenfassen:

Korallentiere bedürfen eines ziemlich hohen Grades von Wasserwärme, so dass sie ausserhalb der Tropenmeere nur in besonders günstig gelagerten Fällen gedeihen. Das Wasser, in welchem sie leben, muss klar, durchsichtig und zugleich mässig bewegt sein, damit die Fühler die von den Strömungen herbeigeführte Nahrung ergreifen können. Süsswasser wirkt vernichtend auf die Kolonien, weshalb in ausgedehnten Riffen gegenüber der Mündung von Flüssen regelmässig Lücken — und damit Hafeneinfahrten — vorhanden sind. In grösserer Tiefe hört für die Anthozoen gleichfalls die Lebensmöglichkeit auf, und da sie auch die freie Luft nur sehr bedingt vertragen können, so ist durchschnittlich die Mächtigkeit der Wasserschicht, innerhalb deren die Korallentiere ihre architektonische Thätigkeit entfalten, keine beträchtliche.

Die früher allgemeine Ansicht, dass atmosphärische Luft den Polypen schädlich sei, scheint allerdings nur bezüglich gewisser Arten zutreffend zu sein. Kraemer und Ortmann, denen wir viele neue Mitteilungen über Korallenbauten verdanken [115], erklären sogar direkt, dass diese Organismen Sauerstoff zu ihrer Erhaltung brauchen, und dass sie sogar positiven Lichthunger — eine Art von tierischem Heliotropismus (ἥλιος, Sonne; τροπισμός, Zugewendetsein) — bekunden. Das geht nach Ortmanns Erfahrungen von der ostafrikanischen Küste so weit, dass manche Arten — Porites lutea, Coeloria sinensis etc. — recht wohl über Wasser eine stundenlange Sonnenbestrahlung aushalten können, ohne darunter zu leiden. In jener Gegend ist auch Felsgrund keine unerlässliche Vorbedingung der Kolonienbildung. Kraemers Angaben zufolge sind auch Meeresströmungen als Speisezubringer nicht erforderlich, wo nicht nachteilig, und der mässige Wellenschlag, welcher durch Wind und Gezeiten veranlasst wird, genügt, um die Zufuhr im Gange zu erhalten.

Aus unseren bisherigen Ausführungen erhellt, wie richtig bereits Forster die Art der Entstehung der Korallenbauten erfasst hatte. „Das Riff,“ sagt er, „wird von den Lithophytenwürmern bis auf eine geringe Distanz von der Oberfläche des Meeres auferbaut. Die Wellen spülen nach und nach allerhand Muscheln, Tang, Korallenstücke, Sand u. dergl. auf diese neu erbaute Mauer, welche, durch alle diese Zusätze erhöht, zuletzt aus dem Wasser emporsteigt.“ Auf Forster und A. v. Chamisso geht auch die Korallengeographie zurück, welche so-

dann durch jede Entdeckungsreise neuen Zuwachs erhielt und heutzutage als abgeschlossen gelten kann, weil die Gewässer der heissen Zone und der subtropischen Gürtel als bis in die kleinsten Einzelheiten durchforscht angenommen werden können.

Im Atlantischen Ozean kommen nur die Bermudas als eine ausschliesslich koralline Bildung in Betracht, während sekundäre Riffbildung auch den Antillen und Bahamas nicht fehlt. Der Indische Ozean enthält die eingangs dieses Paragraphen genannten drei Gruppen, und daneben verdienen die Keelings- oder Kokos-Inseln besondere Erwähnung, weil Darwin (s. in §. 7) sie benützte, um an ihnen seine theoretischen Anschauungen über die Aktion der Korallenpolypen zu erproben. Das eigentlich klassische Gebiet der Koralleninseln ist jedoch Ozeanien; von jeder niedrigen Insel (S. 637) der polynesischen, melanesischen und mikronesischen Inselflur kann man sich a priori versichert halten, dass sie ein Korallengerüste darstelle. So verhält es sich mit den rezenten Korallenbauten; was diejenigen der geologischen Vorzeit anbelangt, so gibt es deren überaus viele, und zwar sind sie über den ganzen Erdball hin verstreut, da ja, wie in Abt. V, Kap. IX gezeigt wurde, die Temperaturverhältnisse dereinst auch an solchen Orten die Ansiedlung von Anthozoen gestatteten, an denen dies in der Gegenwart nicht mehr möglich wäre.

Festländisch gewordene Riffe auf ihren Ursprung zu prüfen, bezeichnet v. Richthofen [116] als eine nicht ganz leichte Sache, die viele Uebung voraussetze. Es nehmen an der Kalkmasse, welche untersucht werden soll, wie wir vernahmen, nicht nur die abgestorbenen Stöcke selbst teil, sondern auch der Trümmersand, welcher durch Zerstörung der Stöcke und der (s. o.) an ihnen haftenden, Kalk absondernden Bewohner entstanden ist, und durch das Zusammensintern, die Zementierung, dieses alle Lücken und Oeffnungen erfüllenden Sandes ist ein festes, graufarbiges Gestein von körniger Struktur zu stande gekommen, welchem man den korallinen Ursprung um so weniger ansieht, da bei der Metamorphose die versteinten Tiere mitunter ganz und gar beseitigt zu sein scheinen. Jedenfalls werden von berufener Seite ganze Gebirgsstöcke von bedeutender Ausdehnung als Korallenresiduen angesprochen; v. Richthofen [117] und v. Mojsisovics [118] haben diese Ansicht namentlich für die zerrissenen Kalkberge im südöstlichen Tirol vertreten. Es ist dies insonderheit jener an Bittererde reiche Kalk, den man Dolomit nennt, und dessen Bildung uns im ersten Kapitel der nächsten Abteilung zu beschäftigen haben wird. Aus der Zusammensetzung des Schlerndolomits, welcher nach einem der landschaftlich imponierendsten Berge der Bozener Gegend benannt ist, zieht auch Neumayr [119] den Schluss, dass man es da mit einer echten Riffbildung zu thun habe; grosse Korallenstöcke, untermischt mit Ueberbleibseln einer echten Tiefseewelt, Seeigeln und Seelilien, füllen oft ganze Gesteinsblöcke aus. In Abt. VIII, Kap. V werden wir auch erfahren, was gegen diese Hypothese spricht.

Der landschaftliche Charakter der Koralleninseln ist, wie leicht einzusehen, ein sehr monotoner. Erhöhungen gibt es nicht, und auch von dem stets eine lebendige Szenerie bedingenden Wechsel der Gesteinsart kann hier keine Rede sein. Die Inseln sind durchweg pflanzenarm, wie denn überhaupt in ganz Polynesien nur 550 Phanerogamenarten zu finden sein sollen [120]. Was sich an Pflanzen vorfindet, wurde von der — ebenfalls spärlichen — menschlichen Bewohnerschaft angebaut, oder es ist als Geschenk der Luft und des Meeres anzusehen; Winde und Strömungen führten die Samen herbei, welche in der verwitternden Kalkschicht der Oberfläche ein Unterkommen fanden. So ungemein reich das niedrige Tierleben in den Riffen ist [121], so wenig höher entwickelte Tiere gehören zur normalen Bewohnerschaft der Inseln. Von Landreptilien trifft man nur Eidechsen an, während allerdings nach Walther [122] auch die ihrer Giftigkeit wegen gefürchteten Seeschlangen der tropischen Meere auf den Korallenriffen nicht selten sind. Alle vorkommenden Säugetiere wurden selbstverständlich importiert.

§. 6. **Die Terminologie der Korallenbauten.** Eine feste Namengebung für die Formen, unter welchen die von den Lithophyten aufgeführten Gebäude erscheinen, war erst seit Darwin (s. o.) möglich geworden. Die von ihm eingeführten Bezeichnungen haben das wissenschaftliche Bürgerrecht erlangt, obwohl neuerdings einige Erweiterungen als notwendig erkannt wurden. Man unterscheidet Saumriffe, Wall- oder Barrièreriffe und Atolle. Nicht überall sind diese Formen gleichmässig verbreitet, sondern es ist bald die eine, bald die andere Art die vorherrschende.

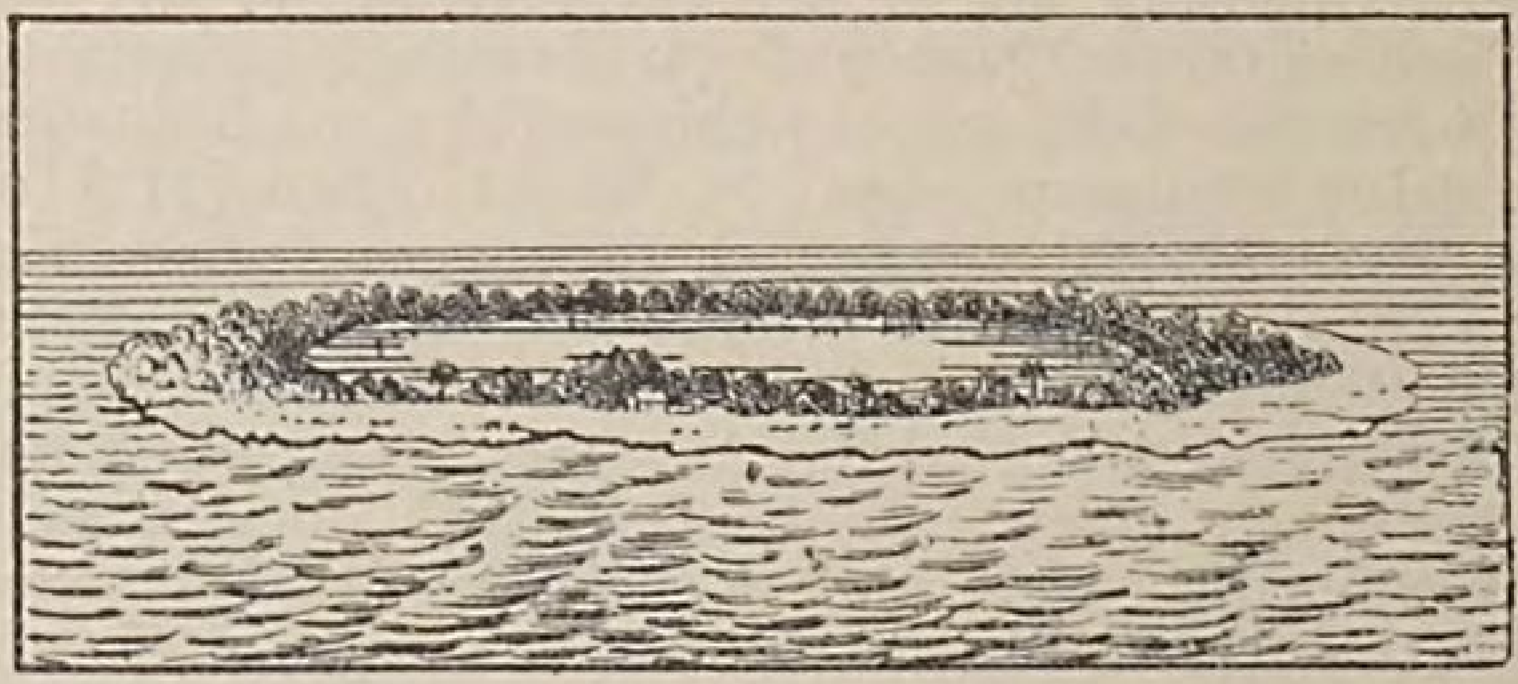
So begegnet man Saumriffen nach Dollo [123] vorwiegend im Roten Meere, an den ostafrikanischen Inseln und sonst im Indischen Ozean, sowie im Bereiche

Fig. 130 a.



der Salomon-, Schiffer-, Freundschafts- und Sandwich-Inseln. Der Name entspricht vollständig der Sache, denn die Saumriffe folgen allenthalben dem Gestade, soweit das (S. 644) mit der Lebensweise der Polypen verträglich ist; die Riffbreite schwankt zwischen 45 und 90 m [124]. Man kann die Saumriffe auch zum festen Lande rechnen, obgleich nicht ganz selten zwischen ersterem und der eigentlichen Küste ein schmaler Meeresarm liegt, wodurch dann auch dieser Riffgattung der insulare Charakter verliehen wird. In ansehnlicher Entfernung vom Lande hält sich ein

Fig. 130 b.



Wallriff, und die Länge, welche einem solchen zukommt, ist oft eine ganz beträchtliche. Das berühmte australische Barrenriff z. B. ist über 1000 km lang und begleitet die Ostküste dieses Erdteiles, nahezu zusammenhängend, vom 14. bis 23. Grade südlicher Breite. Ganz anders beschaffen sind die Atolle: Ovale oder auch genau kreisrunde, seltener eckige Inselkränze, in deren Innerem sich eine oft ziemlich grosse (Forsters Bezeichnung) Lagune ausbreitet. In Fig. 130 a sehen wir, nach Dana, das typische Bild einer von Saum- und Wallriffen umgebenen hohen Insel, in Fig. 130 b, nach Darwin, das Bild eines Atolls — der Pfingstinsel — vor uns. Nach aussen fällt die Umrandung sehr steil (S. 409), gegen die Lagune hin aber sehr sanft ab [125]; um ein drastisches Beispiel für ersteres anzuführen, sei Whartons [126] an dem Eilande Masámarhu vorgenommene Böschungsbestimmung angeführt. Er fand an deren Ostabhang einen Neigungswinkel von 72°! Wenn auch vielleicht überhaupt die Korallenriffe des Roten Meeres besonders steil aufsteigen, so kann doch als Regel gelten: Koralleninseln zeichnen sich durch schroffen Abfall in bedeutende Meerestiefen aus. Freilich ist das nicht so zu verstehen, als könne eine scharf geböschte Insel nur Erzeugnis anthozoischer Arbeit

sein, denn es fand z. B. Th. Studer [127], als er die Fahrt der „Gazelle" (S. 403) mitmachte, 254 m von der Vulkaninsel Amsterdam im Indischen Ozean entfernt eine Meerestiefe von 1624 m, so dass der Böschungswinkel gleich arc tang (1624 : 254) = 81° (appr.) zu setzen ist.

Die Lagune steht gewöhnlich durch Oeffnungen des Ringes mit dem Meere noch in einiger Verbindung; diese Lücken werden zahlreicher, je grösser der Durchmesser des Atolls ist. Mitunter kommt es wohl vor [128], dass statt des mit Brackwasser gefüllten Binnensees nur eine leere, wannenartige Hohlform zu sehen ist, die durch ihre Gipsauskleidung darthut, dass das früher hier vorhanden gewesene Wasser der Verdunstung anheimfiel. Es scheint dies darauf hinzudeuten, dass die Strandlinie sich negativ verschob, und dass so gewissermassen die Lagune über das Wasser emporgehoben, des direkten Zusammenhanges mit dem Meere beraubt wurde. Derartige gehobene Atolle sind nicht selten; auch die Bermudas (S. 645) gehören zu ihnen.

Die meisten Autoren sind mit den Begriffsbestimmungen, welche Darwin eingeführt hat, ausgekommen. Gleichwohl lässt sich nicht leugnen, dass von anderer Seite eine etwas geänderte Nomenklatur für notwendig erachtet worden ist, um für die überaus grosse Formenmannigfaltigkeit der Natur recht adäquate Ausdrücke zu erhalten. In dieser Beziehung sind es hauptsächlich die Bestrebungen Kraemers [129], welche von der Geophysik beachtet werden müssen; eine weitere terminologische Neuerung, welche auf Langenbeck zurückgeht, werden wir am besten erst in §. 8 zur Sprache bringen.

Es werden von Kraemer fünf Arten der Riffbildung unterschieden: a) Korallenbank (Patch, Soal, Kegelriff, pelagisches Riff), isolierte, baumartig emporgewachsene Korallenfelsen; b) echtes Saumriff, an Buchten, die von Steilküsten eingerahmt sind, grossenteils unter Wasser verborgen; c) Strandriff (Shore Reef), die Einrahmung sanft und gleichförmig ansteigender Küsten, durch seichtes Wasser vom Lande getrennt; d) Barrièreriff (Barrier Reef, Dammriff), weit vorgeschoben, gegen die Küste hin von Stillwasser begrenzt, bei genauerem Zusehen häufig als Sektor eines zerstörten Atolls erkennbar; e) Atoll (Encircling Reef, Kranzriff). Wie man sieht, weicht diese Klassifikation besonders durch die schärfere Betonung der einsiedlerhaft auftretenden Felsen und durch die dichotomische Auffassung der Saumriffe ab.

Wie es kommt, dass da und dort eine so entschiedene Bevorzugung gewisser Arten hervortritt, ist nicht ohne tiefere Untersuchung zu unterscheiden. Die Sámoa-Gruppe z. B. hat nur ein einziges Atoll. Umgekehrt fand Steinbach [130] die Marshall-Gruppe sehr atollreich; es gibt Atolle von 20—60 Seemeilen Durchmesser, die bis zu 4 m in die Höhe steigen und innerhalb der Lagune Ebbe und Flut erkennen lassen, wie denn auch auf dem breiten Kranze der Wind den zermürbten Kalksand zu förmlichen Dünen aufzubauen vermochte. Dann wieder hat Sansibar nach Baumann [131] nur ein nach Osten gewendetes Strandriff, und gleicherweise weist der Liukiu-Archipel ausschliesslich Saumriffe auf, die von Madre- und Milleporen aufgeführt sind [132]. Der Korallenkalk ist, so namentlich auf Sansibar und Mafia, vielfach geradezu verkarstet [133]; nur ausnahmsweise trifft man auf versteinerungsführende Kalke, wie sie z. B. v. Eggers [134] auf Tobago fand. Ausgeprägte Wallriffe wies Brauer [135] in der Umgebung der selbst granitischen, aber trotzdem von Saumriffen umgürteten Seychellen nach, und ein wirres Gemisch aller Formen ist Rosset [136] zufolge der Malediven-Archipel (S. 641), in welchem schon der grosse arabische Reisende Ibn Batuta 2000 Inselchen gezählt haben wollte [137]. Wenn sich die Frage erhebt, weshalb irgend eine Stelle der Korallenbauten im Meere entbehre, während sie nach den örtlichen Verhältnissen zu erwarten wären, so muss man mit K. Martin [138] auch darauf acht haben, ob nicht die Meeresströmungen Sand mit sich führen, denn dieser ist, der Quarzkörner halber, den Korallentieren verderblich.

§. 7. **Aeltere Theorien der Korallenbildungen; Darwins Senkungstheorie.** Die morphographische Seite des uns beschäftigenden Problemes kann als hinlänglich geklärt gelten, und es tritt jetzt die

Pflicht an uns heran, über die Art und Weise weitere Aufklärung zu erteilen, wie sich der Aufbau der verschiedenen Riff- und Inselgattungen gestaltet. Seinen vorbereitenden Studien, die durch die Weltreise bedingt waren, liess Darwin ein selbständiges Buch folgen, welches heute noch die Bedeutung eines Fundamentalwerkes besitzt und folglich auch mehrere Auflagen erlebte [139]. Nächst Darwin arbeitete am eifrigsten und glücklichsten an der Entschleierung dieser Geheimnisse der Amerikaner Dana (I, S. 125), der seinen Untersuchungen [140] über die Fortpflanzung (S. 642) der Zoophyten bald einen Zyklus zusammengehöriger Erörterungen [141] über den Riffbau folgen liess, worauf dann noch ein grösseres Lehrbuch [142] folgte, welches zuerst einen in den Umständen gegebenen Fortschritt über Darwin hinaus einleitete. Gute, gemeinfassliche Uebersichten über die hier in Betracht kommenden Hypothesen liegen von Vetter [143] und Henrich [144] vor, und ausserdem braucht es kaum erwähnt zu werden, dass alle neueren Schriften über Geologie und physikalische Geographie mehr oder weniger ausführlich den Gegenstand behandeln. Die ältere und älteste Geschichte der Korallenbauten und Derer, welche sich mit ihnen beschäftigten, findet man in einer recht dankenswerten Schrift von Boettger [145]. Das unentbehrlichste Hilfsmittel für jeden auf diesem Felde Arbeitenden ist die Monographie von Langenbeck, welche der Autor bald durch eine zweite Abhandlung ergänzte, um den Stand der Frage auch für die neueste Zeit noch zu skizzieren [146].

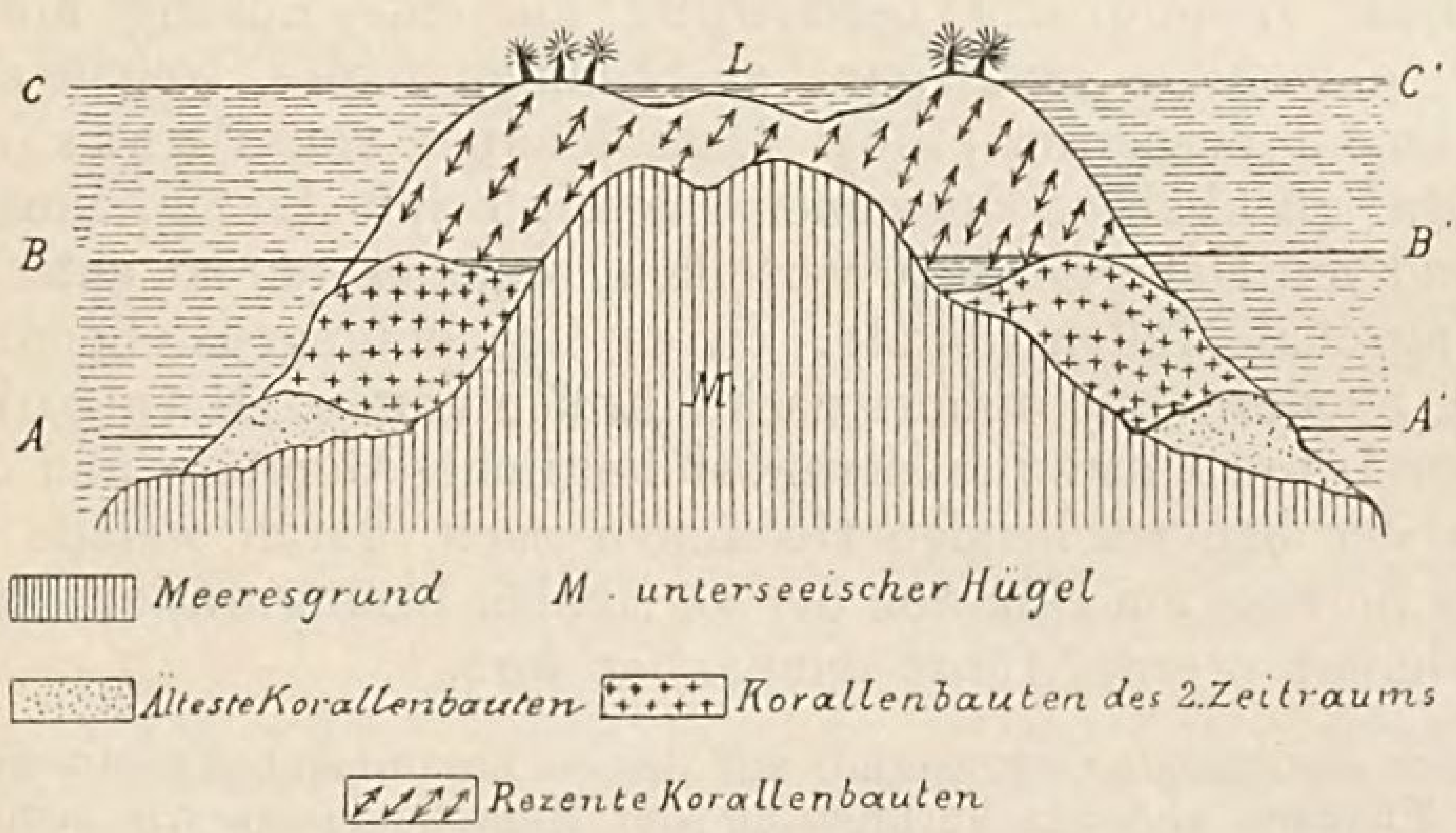
Die Theorie beginnt, da die älteren Beobachtungen von De Castro, Huygens van Linschooten, Pyrard, Shaw, Dalrymple und Strachan über das rein thatsächliche Moment nicht hinausgekommen waren [147], mit J. R. Forster, bei dem Wahrheit und Irrtum, wie es gerechterweise als naturnotwendig bezeichnet werden muss, sich bunt vermischten. Etwas weiter ging v. Chamisso (S. 638), der aus der Anordnung der ihm bekannt gewordenen Korallenbauten folgerte, dass dieselben durchweg die Gipfel unterseeischer Erhebungen krönten. Je nachdem diese verschiedene Gestalt hätten, so nahm er zutreffend an, müsse sich auch die äussere Form des Korallengebäudes verschieden gestalten. Die Schule v. Buchs nahm v. Chamissos Mitteilungen günstig auf, und F. Hoffmann [148] brachte ihnen entsprechend Vulkan- und Koralleninseln in engsten Zusammenhang. Die untermeerischen Aufschüttungskegel bewahren eine reihenförmige Anordnung (I, S. 416), und wenn jeder von ihnen auf seinem Gipfel derart mit Korallenwohnungen bestanden ist, dass dieselben schliesslich über den Meeresspiegel emporragen, so tritt eine analoge Reihung auch in den Korallen-Archipelen hervor, wie sich das am deutlichsten im Indischen Ozean offenbart. Als Kegelberge definierte auch Beechey [149] die Träger der Atolle, welche als dünner Kranz um die Spitze herum aufgefasst wurden. Und es ist ja gar nicht in Abrede zu stellen, dass manche Beobachtung sich dieser Interpretation der Atolle trefflich anpasst. Wir erinnern nur an das von Sollas, Hedley und Langenbeck beschriebene Atoll Funafuti in der Ellice-Gruppe [150]. Aus der Tiefe von 3600 m steigt ein regelmässiger Kegel aus, dessen geometrischer Charakter durch den Umstand verbürgt ist, dass die Isobathen von 1000, 2000 und 3000 m geschlossene Kurven ergeben, welche dem Umrisse des Atolls ganz gleich gebildet sind. Die mittlere Neigung des Berges ist eine mässige, aber in der Zwischenschicht zwischen 0 und 256 m Tiefe ist der Absturz einer der jähesten (bis zu 80°), die bisher irgendwo aufgefunden worden sind. Auch fallen jetzt Gerlands Untersuchungen, die uns schon einmal in anderer Ideenverbindung begegnet sind (I, S. 409), sehr ins Gewicht, denn aus ihnen lässt sich eine wesentliche Bekräftigung [151] der Ansichten v. Chamissos herleiten. Alle Koralleninseln der Tiefsee erweisen sich als Aufsätze vulkanischer Sockel. Gelang es einmal, die Natur eines solchen Piedestales petrographisch zu erforschen, so stellte sich heraus, dass vulkanisches Gestein den Sockel bildete. Mehrere dieser Thatsachen waren ja in der Periode vor Darwin noch ganz und gar nicht bekannt,

und es spricht sehr zu Gunsten der älteren Geologen, dass sie eine so korrekte Anschauung von einer noch so wenig bekannten Sache hegten.

Die von Darwin aufgestellte Theorie drängte alle früheren Versuche, die Erscheinungen zu begreifen, in den Hintergrund. Ihr Hauptvorzug bestand darin, alle die uns bekannten Erscheinungsformen der Korallenbauten als notwendige Konsequenzen eines einheitlichen Bildungsprozesses zu definieren. So hat denn auch diese Theorie sich derart zu befestigen gewusst, dass man in der Hauptsache die zahlreichen und auf ein ungeheures Material neuer thatsächlicher Ermittelungen sich stützenden Arbeiten des letzten Halbjahrhunderts dahin klassifizieren kann, wie sie sich gegenüber dem Grundgedanken der ersteren verhalten. Für und wider Darwin, das ist geradezu die Losung geworden, und der beherrschende Charakter dieser Lehre ist damit genugsam gekennzeichnet.

Als eigentliche Basis der Darwinschen Theorie ist die Annahme zu betrachten, dass der Meeresgrund, dessen höchste Aufwölbungen der Sitz von Koralleninseln sind, sich in steter Senkung befinde. „In dem Masse“, so drückt er sich aus [152], „als Berg nach Berg und Insel nach Insel langsam unter das Wasser hinabsank, werden sich auch neue Grundlagen dargeboten haben, auf denen die Korallen wachsen konnten.“ Nur so, argumentiere er, könne

Fig. 131.



man retten, was an der früher schon erlangten Erkenntnis von bleibendem Werte sei, denn es sei doch (S. 644) festgestellt, dass die riffbauenden Korallen nicht in sehr tiefem Wasser leben können, und es sei zweitens ganz undenkbar, dass die submarinen Berge, die v. Chamisso als Heimstätten der Korallenbauten ansprach, stets genau in jene schmale Zone hineingereicht hätten, welche den Polypen als Wohnraum angewiesen ist. Fortdauernde positive Verlegung der Wasserlinie bewirkte aber die Herausbildung der mannigfaltigen Formen der Riffe; wie, das sucht Fig. 131 nach Darwin ersichtlich zu machen.

M ist ein unterseeischer Hügel, den wir also (s. o.) so gut wie gewiss für eine vulkanische Aufschüttung oder Aufblähung halten dürfen. An dessen Flanken nahm die lithophytische Arbeit ihren Anfang; es entstanden Strandriffe, welche sich, wie wir wissen, nur ganz unbedeutend über das damalige Meeresniveau A A′ erheben konnten. Dann sank, bei unveränderter Höhe dieses Niveaus, der Hügel M, so dass jetzt thatsächlich der Meeresspiegel mit B B′ zusammenfiel, und die Korallen setzten ihre Thätigkeit fort, indem sie ein neues Saumriff aufführten. Im dritten Senkungsstadium ist C C′ der Meeresspiegel geworden; nachdem schon vorher ein

Mantel von Korallengestein sich um die ganze Kuppe herumgelegt hatte, auch wohl schon ein Ansatz zur Lagune gegeben war, aus der aber noch der Gipfel von M als fremdes Element hervorgeragt hatte, ist nunmehr dieses letztere vollkommen überbaut und zugedeckt, und der Bau ist bis an die Wassergrenze emporgestiegen. Die Lagune selbst kann das Resultat einer schwachen negativen Bewegung sein, welche der letzten positiven nachfolgte, wie dies nach den früheren Ausführungen über gehobene Atolle (S. 647) oft genug geschehen sein wird; es hat aber auch, wie Darwin selbst erkannt hat [153], die Ansammlung von Schwemmprodukten aller Art an dieser Zusammensetzung eines erhöhten Inselkranzes einen namhaften Anteil. Man überzeugt sich, dass diese Auffassung den rein morphographischen Gegensatz zwischen Saumriffen und Atollen zu gänzlichem Verschwinden bringt, und auch die Wallriffe bedürfen keiner selbständigen Erklärung. Wo sie nicht Reste zerstörter Kränze sind, kann man sie sehr wohl auch als die ursprünglichen Strandriffe einer flach geböschten Erhöhung gelten lassen, welche durch eine kontinentale Strandverschiebung wieder ans Licht getreten sind und durch neue Anbauten Vergrösserung und Formveränderung erfahren haben, so dass sich ihr anfängliches Wesen erst wieder rekonstruieren lassen muss. Darwin fühlte auch die Verpflichtung, die Landsenkung, welcher er eine entscheidende Bedeutung beimass, durch direkte Beweise zu verifizieren, und er glaubte auch solche Belege erbringen zu können [154], ohne zu verkennen, dass dieselben kaum als ganz unzweideutig hingenommen werden dürften.

§. 8. **Die Fortbildung der Korallentheorien in neuerer und neuester Zeit.** Die soeben erläuterte Erklärung der Korallenriffbildung wurde fast durchaus freudig und bereitwillig als eine Lösung aller Rätsel anerkannt, obwohl es nicht ganz an Stimmen fehlte, welche sich etwas zurückhaltender äusserten [155]. Dass Männer von Danas (s. o.) und Lyells Ruf rückhaltlos der neuen Theorie beipflichteten, musste dieser selbstredend ein Uebergewicht verleihen, welches um so entscheidender in die Wagschale fallen konnte, da es eine entgegenstehende Theorie nicht gab, sondern nur aphoristische Andeutungen. Humboldt [156] rühmte der Lehre Darwins deren einheitliches Gepräge und die grosse Tragweite der beherrschenden Gedanken nach, durch welche ohne unmittelbare Lotung ein Bild von der vertikalen Konfiguration des Meeresbodens erhalten werde, fährt dann aber fort:

„Dieser anziehende Gegenstand, auf dessen Zusammenhang mit den Wanderungen der Pflanzen und der Verbreitung der Menschenrassen wir schon im Eingang dieser Note aufmerksam gemacht haben, wird erst dann zu völliger Klarheit kommen, wenn es gelingen sollte, mehr Kenntnis von der Auflagerungstiefe und der Natur der Gebirgsmassen zu erhalten, welche den unteren, bereits abgestorbenen Schichten der Polypenstöcke zur Grundlage dienen.“ Der grosse Naturforscher gibt hier also in den „Ansichten der Natur“ Bedenken Raum, welche Lyell bereits ganz hatte schwinden lassen, obwohl er zuerst von der Senkungstheorie einen „paradoxen“ Eindruck empfangen hatte [157]. Die werbende Kraft der neuen Auffassung beruhte eben, wie auch Rittau bemerkt [158], grossenteils in der auch von Humboldt gewürdigten Einheitlichkeit, d. h. in dem Umstande, dass alle die verschiedenen Gestaltungen des Korallenriffes als Entwickelungsphasen ein und desselben, unter gleichen Verhältnissen auch gleichmässig verlaufenden Prozesses betrachtet werden durften. Unbedingt schlossen sich Darwin an v. Hochstetter [159], Peschel [160], Reclus [161] und, Marinellis Aussage [162] zufolge, so gut wie alle italienischen Fachschriftsteller von Ruf, so Boccardo [163], Malfatti [164] und Stoppani [165]. Gegen das Jahr 1870 hin schien der Sieg der Darwinschen Rifftheorie ein unbestrittener, ein gewichtiger Einwurf gegen deren Fundament nicht mehr zu erwarten zu sein.

Um jene Zeit kamen aus Amerika die ersten bemerkenswerten Angriffe, ausgehend von Forschern, welche sich dem gründlichsten Studium der Riffe Floridas und der nördlichen Gruppe der Westindischen

Inseln gewidmet hatten. Es waren die beiden Agassiz, welche in jenen Gegenden die als oberstes Bedingnis dastehende Landsenkung nicht hatten nachweisen können, wohl aber deutliche Spuren einer entgegengesetzt gerichteten Strandverschiebung entdeckt zu haben glaubten. Nächstdem erstand Darwin in der Person des grossen Ozeankenners Murray ein gefährlicher Gegner, und in vollkommener gegenseitiger Unabhängigkeit haben auch Gelehrte deutscher Nationalität, nämlich Semper, Rein und Th. Studer, die von ihnen an sehr distanten Orten der Erdoberfläche gesammelten Erfahrungen gegen die Suprematie der Darwinschen Senkungstheorie verwertet, so dass dieser wenigstens die für die ganze Erde in gleicher Weise bestehende Allgemeingültigkeit genommen zu sein schien.

Die von L. Agassiz im Jahre 1851 und erst sehr viel später zu einigem Abschlusse gebrachten Forschungen waren veranlasst worden durch einen Brief Baches (S. 410), des Chefs des Küstenvermessungsdienstes der Union; derselbe wies auf die Florida-Riffe hin, deren Eigenschaften einer Prüfung bedürftig seien. „Ein Bericht behandelt sie als wachsende Korallen, ein anderer als Massen von Oolith, welche riffartig aufeinander getürmt sind“ [166]. Um hierüber Gewissheit zu schaffen, erhielt Agassiz ein eigenes Schiff zur Verfügung gestellt, und bald konnte er an Lyell schreiben [167], dass diese amerikanischen Bildungen von denen der Darwinschen Systematik ganz verschieden seien. Mehrere konzentrische Riffe säumten die Küste ein; allerdings sei — in den Tortugas — auch ein wirkliches Atoll vorhanden, allein Indizien für eine Senkung seien in der Nähe nirgendwo zu sehen. Die Einzelheiten der von der Expedition erzielten Resultate wurden der Oeffentlichkeit erst viel später, ziemlich gleichzeitig mit den Studien des jüngeren Agassiz, übergeben [168], aber unter dem Einflusse der neuen, in Nordamerika sich rasch einbürgernden Ansichten war auch bereits eine Schrift von Le Conte [169] entstanden, die darauf ausging, zu zeigen, dass von der gewaltigen, aber zwischen Florida und Kuba unnatürlich (S. 500) eingeschnürten Meeresströmung Sedimente in Menge abgelagert würden; diese erhöhten den Grund und bereiteten so die Ansiedlung und Bauthätigkeit der Anthozoen vor. — Bald nachher konstatierte auch Semper im Pelew-Archipel [170], dass die Angaben Darwins mit dem, was er vor Augen sah, nicht recht übereinstimmen wollten. Auf kleinem Raume fanden sich alle drei Hauptgattungen nebeneinander vereinigt; von säkulärer Senkung schien keine Rede sein zu können, weit eher von rezenter Hebung; auch war es der Würzburger Zoologe, der zuerst einen schärferen Akzent auf die Beschaffenheit des die Korallenriffe bespülenden Wassers legte. Das Wachstum der ursprünglichen Korallenknollen gestalte sich sehr verschieden, je nachdem die Strömung klar oder trüb, salzig oder brackisch sei. — Rein war unter den Ersten, welche die Schwierigkeit einer Ausdehnung der Darwinschen Senkungstheorie auf die atlantischen Verhältnisse klar überschauten; er hatte sich lange auf den Bermudas (S. 640) aufgehalten und seine dortigen Wahrnehmungen auch dem Publikum vorgelegt [171], allein da das Aufkommen gegen die dominierende Doktrin schwierig war, so hielt er es für angezeigt, später nochmals, und mit neuen Beweismitteln, seine abweichende Auffassung zu begründen [172]. Die Dickenberechnungen (s. o.) von Dana und Darwin glaubte Rein auf Grund der Messungen an Korallenbauten der geologischen Vorzeit widerlegen zu können. Solche Bestimmungen hatte v. Fritsch in der That ausgeführt; er bemerkt, dass es deren am Balkan, im Salzkammergut, in der Provence gäbe, und dass eine Mächtigkeit von 100 m schon einen Maximalwert darstelle [173]; auch die (S. 645) besprochene Hypothese von der Zugehörigkeit gewisser alpiner Dolomitbildungen zu den Riffen zeuge nicht für Darwin, da es sich auch in diesem Falle nur um einen Ueberzug über echtes Gestein handle. Vorkommnisse, wie die genannten, liessen sich auch anderwärts nachweisen. So handelt Dupont [174] ausführlich von den Bauten fossiler Lithophyten — Stromatoporen und echten Korallen — im belgischen Paläozoikum, die teilweise Saumriffe, teilweise aber auch Atolle sind, und Liebe [175] gibt die Beschreibung eines thüringischen Bryozoenriffes, welches, obwohl die Mooskorallentierchen (S. 642) weit zierlichere Bauten ausführen, als dies die ozeanischen Anthozoen thun, gleichwohl auch als Masstab für die Schätzung der Dicke eines solchen Bauwerkes dienen kann. Um auf Rein zurückzukommen

so blieb er nicht bei blosser Kritik stehen, sondern stellte der Theorie Darwins seine eigene entgegen, die man folgendermassen formulieren kann: Korallenriffe können sich überall da bilden, wo die — uns aus §. 5 bekannten — Grundbedingungen für Existenz und Stockbildung der Polypen zugleich mit einer festen Unterlage gegeben sind, mag dies nun eine untergetauchte Küste oder eine submarine Bodenerhebung und mag diese wie immer entstanden sein. Dass dergleichen reichlich vorhanden seien, erachtete Rein als durch die Tiefenmessungen der „Gazelle“ und des „Challenger“ in positivem Sinne entschieden. Was die Reinsche Auffassung Vielen sympathisch machte, war die Thatsache, dass durch jene der Gedanke, von welchem Darwin ausging, nicht schlechthin als ein unrichtiger, sondern lediglich als ein allzu speziell gefasster hingestellt werden sollte; es können sich Koralleninseln so bilden, wie es der berühmte britische Naturforscher angegeben hat; sie können sich aber auch recht wohl auf eine andere Art bilden. — Eine Beobachtung Th. Studers [176] (S. 647) kam den Bestrebungen Derer, welche an die Omnipotenz der Darwinschen Theorie rüttelten, zu Hilfe. Derselbe fand bei der Tonga-Insel Wawau alle Umstände vereinigt, von deren Koexistenz man die Riffbildung abhängig glaubte. Eine über 50 m tiefe Meeresbucht hat reines Salzwasser von der richtigen Temperatur (S. 644), aber trotzdem ist auf dem Meeresboden nichts von lebenden Korallen zu verspüren, und erst in 40 m Tiefe treten plötzlich Korallenbauten in Gestalt einer schmalen, terrassierten Mauer auf. Hier also bewahrheitet es sich nicht, dass die Polypen an der untersinkenden Berglehne ihre Arbeit rastlos fortsetzen sollen.

Wie man sieht, war in Deutschland der Boden gründlich vorbereitet, jene umfassende Neugestaltung der Elevationstheorie aufzunehmen, welche Murray [177] der Submergenztheorie (submergere, untertauchen) substituierte. Mit dem, was später Gerland (I, S. 409) noch schärfer bewies, stimmt diese neue Erklärung teilweise überein; die Sockel der Korallenbauten sind wesentlich Vulkanberge, aber über diesen bauen sich mächtige Schichten tierischer und pflanzlicher Residuen — vgl. in Abt. VI, Kap. II, §. 6 — auf, welche um so mehr zur Erhöhung der schon präformierten Erhebungen beitragen müssen, je grössere Mengen solcher Schalen sich in der kohlensäurehaltigeren Tiefsee auflösen. Höhe und Böschungswinkel nehmen zu, und so wachsen die submarinen Berge allgemach in die den Korallentierchen vorbehaltene Wasserschicht hinein. Wenn sich ein Atoll entwickelt, so liegt dies einerseits an der reichlicheren Ernährung der Kolonisten am Aussenrande und andererseits an der gegenüber der Leeseite sich energischer äussernden Lösungskraft der maritimen Kohlensäure (S. 437). Barrièreriffe sind für Murray bloss Strandriffe, die durch einen sich stetig erweiternden Kanal von ihrer Küste mehr und mehr abgetrennt, mehr und mehr selbständig gemacht werden. — Auch v. Richthofen [176] wies darauf hin, dass die Beobachtungen (S. 410) v. Pourtalès [177] ein solches Anwachsen der Schalensedimente bis zur Korallenzone sehr wahrscheinlich machen. Doch trat der erstgenannte nicht unbedingt deswegen zu Murray über, sondern suchte aus der Darwinschen Hypothese die Voraussetzung einer fortschreitend-positiven Niveauverschiebung als den minder wesentlichen Punkt auszuscheiden [178]. Zu einem entscheidenden Urteile hielt seine bewährte Vorsicht die Zeit noch nicht gekommen.

Immerhin stand es so, dass gegen das Jahr 1890 die Wagschale zu Gunsten der Darwinschen Theorie im Steigen, diejenige Murrays und der ihm zum Teile vorangegangenen deutschen Forscher im Sinken begriffen war, wie dies auch Langenbeck anerkennt [179]. Die Meinung Henrichs [180], es sei durch Reins Befund im Gebiete der Bermudas die allerdings damals (1882) noch herrschende Lehre nicht erschüttert worden, dürfte eine ziemlich isolierte gewesen sein. Selbst wer noch am objektivsten dachte, musste wohl nach Abhörung der für und wider sprechenden Zeugen sich etwa folgendermassen aussprechen: Der Gültigkeitsbereich der Submergenztheorie ist beträchtlich verringert, und die Wahrscheinlichkeit, dass die auf vulkanischen Bodenerhöhungen sich vollziehende Sedimentation den Korallenerbauern Beginn

und Fortführung ihrer Arbeit ermöglichte, hat sich um ein namhaftes vermehrt.

Zu Denjenigen, welche die ältere Theorie für unzureichend erklärten, gehört vor allem der schottische Geologe Guppy, der in einer Reihe von Aufsätzen die Grundanschauungen Darwins bestritt [181]. Derselbe hat gerade jene Gruppe der Kokos-Inseln zum Studienobjekte gewählt, welches allseitig als die Geburtsstätte der Darwinschen Ideen gefeiert ward, und seiner Ansicht nach konnten diese Ideen sich hier nicht bilden, sondern sie wurden bereits mehr oder weniger fertig aus Polynesien mitgebracht und nur für diese östlichste Inselgruppe des Indischen Ozeans paradigmatisch formuliert [182]. Nach Guppy gibt es allenthalben in der Südsee Atolle und Wallriffe, ohne dass in der Nähe Senkungsanzeichen bemerkbar wären. Die meiste Beweiskraft für die Antidarwinianer besitzen in Guppys Augen die Salomonen, denn sie enthalten alle drei Gattungen des Darwinschen Systemes, aber zugleich unzweifelhafte Kriterien rezenter Landhebung. Wie sich der mehrerwähnte Gelehrte die Inselbildung vorstellt, erhellt aus Fig. 132. In 1 sehen wir vor uns den Kern, einen altvulkanischen Pik, der in der Salomonen-Gruppe zum öfteren durch Denudation (S. 602) blossgelegt erscheint. Diesen Kern bedecken die durch 2 dargestellten Tiefseeablagerungen, Tuffe mit zahlreichen organischen Resten, und daran schliesst sich das äussere Korallenriff 3, dessen Mächtigkeit über 45 bis 60 m nicht hinausgehen soll. Die Teile 1 und 2 gelangen durch subterrane Kräfte und fortschreitende Sedimentation in die koralline Wasserschicht, und beim Steigen setzt sich ein Riffring über dem anderen an. An und für sich sind die verschiedenen Gestalten ganz gleichwertig; lediglich von der Form der unterseeischen Postamente und von Meeresströmungen hängt die schliessliche Herausbildung eines Längs- oder Kranzriffes ab. Wir erblicken in Fig. 133 eine kleine Aufschüttungsinsel über einem noch verdeckten Riffe; die Strömungen führen aber dem Ansatzkerne fortwährend Detritusmassen zu, und durch deren Landung und Verfestigung nimmt die ursprünglich nur zufällig gewordene Umrisse aufweisende Insel zuerst die Gestalt eines Halbmondes und schliesslich die eines Atolls an. Bei dieser Auffassung wird man freilich dazu kommen, anzunehmen, dass am Ende langer Zeiträume aus jedem, wie immer beschaffenen Riffe ein Atoll werden müsse. Dies ist auch in der That die Meinung Bournes [183], der am Atoll Diego Garcia unzweifelhafte Marken einer oszillatorischen Bewegung der Wasserlinie wahrnahm. In diesem wichtigen Punkte war also eine grosse Verschiedenheit des Standpunktes auch unter den Gegnern Darwins nicht zu verkennen; die Einen, Murray voran, erkannten in der Lagunenbildung das Endergebnis destruktiver Prozesse — der mechanischen Erosion und der chemischen Zersetzung —, während die Anderen ein langsames Entstehen der ursprünglich noch frei mit dem Meere korrespondierenden Lagune behaupteten. Die Versuche Irvines veranlassten besonders Murray [184], an seiner Interpretation des Vorganges festzuhalten; sie lehrten, dass amorpher Kalk, wie er sich (S. 643) in den toten Korallenstöcken darstellt, besonders rasch der Lösungskraft der im Meerwasser enthaltenen Kohlensäure erliege. Anlässlich dieser Fragen erhob sich, wie das in England gute Sitte ist, ein lebhafter Meinungsaustausch in der wissenschaftlichen Presse, der 1893 neues Leben durch eine auf der britischen Naturforscherversammlung zu Nottingham gepflogene Diskussion empfing [185], worüber Langenbeck [186] des näheren berichtet. Derselbe hebt als ein Resultat dieser Erörterungen das hervor, dass die schroffen Gegensätze sich milderten, und dass man insbesondere zu dem Zugeständnis gelangte, das Korallenriffproblem sei ein zu verwickeltes, um einer ganz bestimmten, einseitigen

Fig. 132.

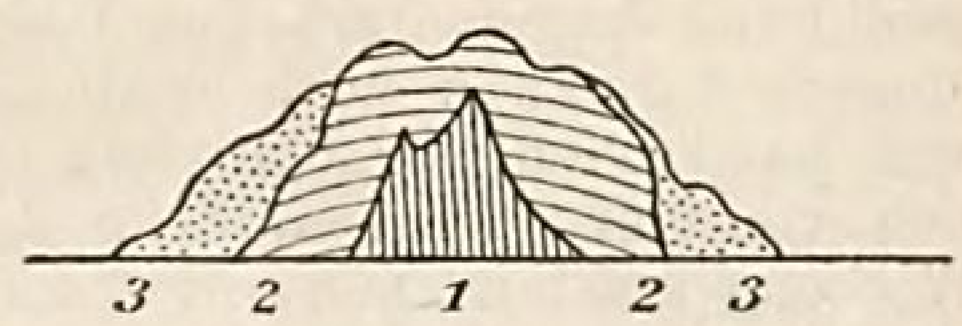
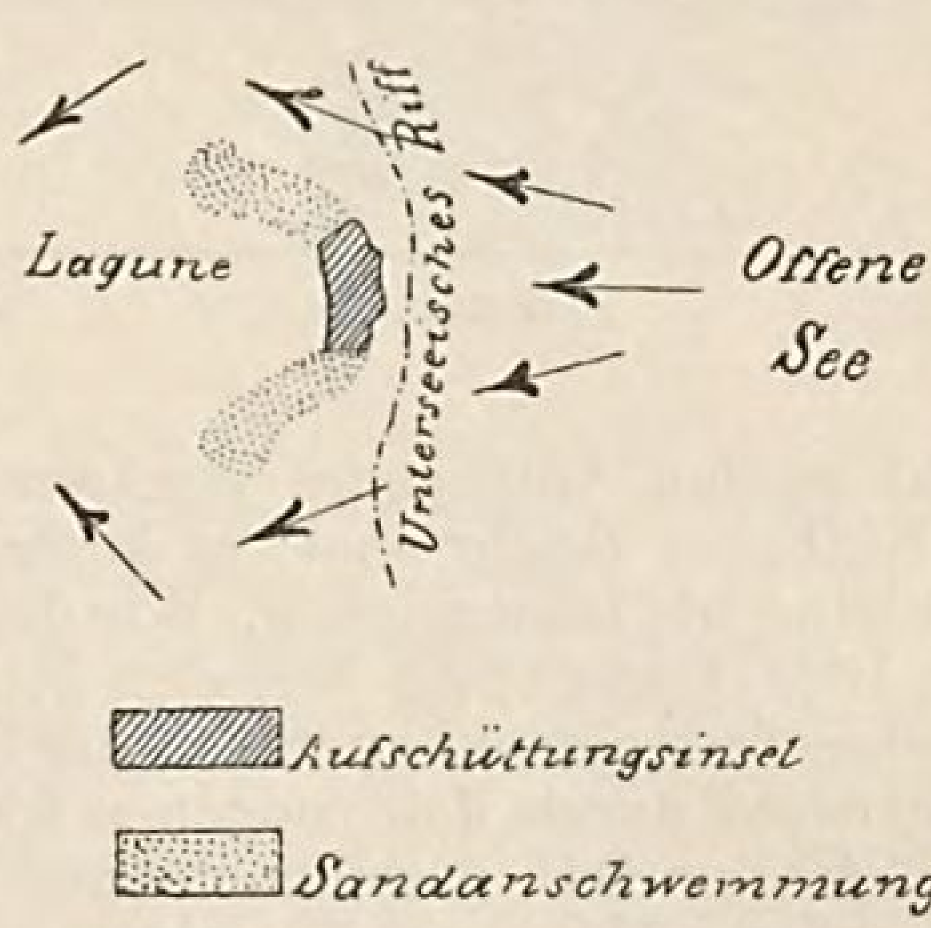


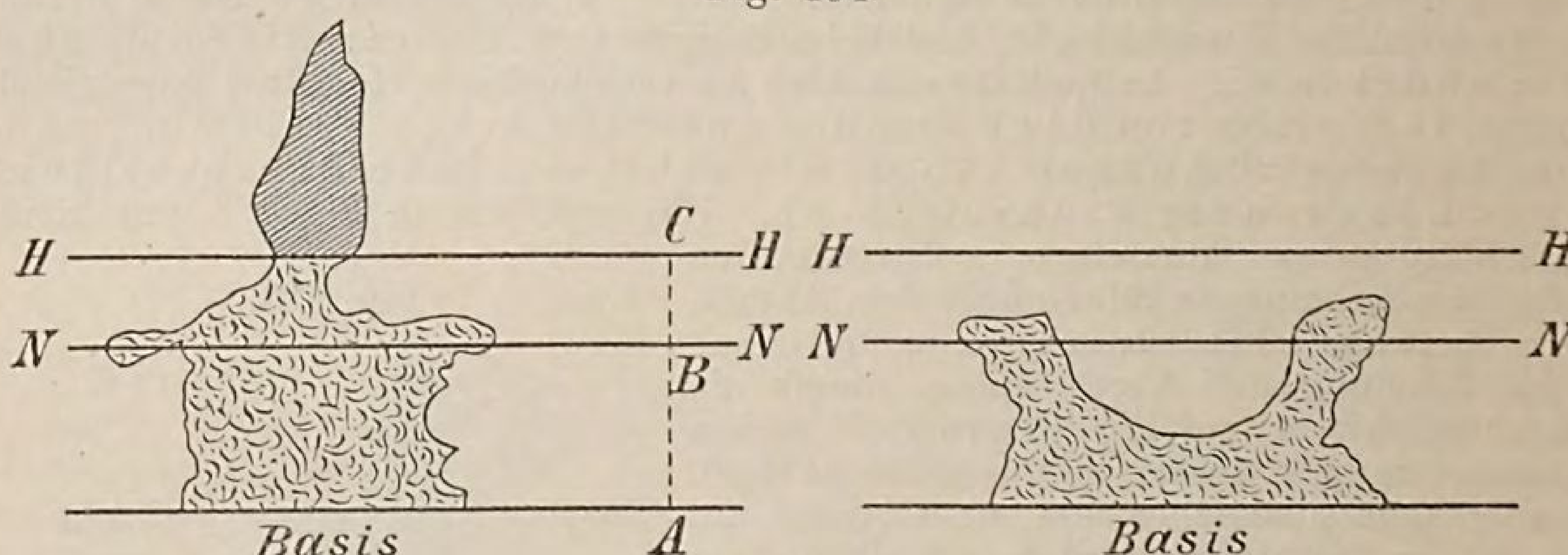
Fig. 133.



Lösung teilhaftig werden zu können. Immerhin wurde der litterarische Kampf dadurch nicht beschränkt, wie wir gleich sehen werden, wenn wir zunächst noch die um Murray gruppierten Widersacher der Submergenztheorie zum Worte kommen lassen.

Teilweise zu ihnen gehört Campbell [187], der die Banks-Inseln und Neuen Hebriden als Belege vorführte; dort gibt es weder Atolle noch Barrièreriffe, sondern nur ganz unbedeutende Küstenriffe, aber allerdings mangelt es auch an irgend einer ausgesprochenen Strandverschiebung nach oben oder unten. A. Agassiz, der (S. 651) mit den amerikanischen Riffbildungen begonnen hatte, dehnte seine Forschungen später auf das grosse australische Wallriff (S. 646) aus [188], an welchem er, mit Saville Kent [189] übereinstimmend, eine ganz junge negative und eine ältere positive Strandverschiebung konstatierte; nur sei diese letztere auch nicht energisch genug gewesen, um eine Mächtigkeit des Riffes anzunehmen, wie sie nach Darwin zu verlangen wäre. Allerdings sei die Landsenkung ein nicht unwesentliches Moment, aber doch nur in der Weise, dass durch sie den zerstörenden Kräften des Meeres reichlichere Gelegenheit geboten gewesen sei, auf den so gebildeten fragmentarischen Inselchen festen Fuss zu fassen. Nächstdem hat der jüngere Agassiz noch weite und grosse Reisen nach verschiedenen atlantischen und pazifischen Koralleninseln unternommen [190] und zumal an den Bermudas sich von der geringen Dicke der eigentlich nur als Decke des durch subaërische Wirkung entstandenen anstehenden Gesteines überzeugt. Auf den Bermudas-Inseln stellte er das Vorkommen einer ganz eigentümlichen Abart von zoophytischen Bauten fest, die von den Serpulen aufgeführt sind, Kalkröhrenbewohnern, die

Fig. 134.



nicht zu den Anthozoen, sondern zu den Borstenwürmern gehören, aber ebenfalls als Riffbauer thätig sind; es kommen alle drei Riffgattungen vor, nur in ungemein verkleinerten Dimensionen. Wie diese Atolle sich bilden, erläutert nach Agassiz [191] Fig. 134. Basis eines Serpulen-Atolls ist ein äolisch (S. 619) gebildeter Fels, dessen unterer Teil, obwohl auch von der Brandung in der Höhe A B angegriffen (Fig. 134 a), gleichwohl durch den zoogenen Kalküberzug geschützt wird (vgl. S. 600); das durch die Strecke B C bezeichnete Stück des Felsens dagegen, welches zwischen dem Hochwasser H H und Niedrigwasser N N liegt, wird mehr und mehr erodiert, so dass am dünnen Halse ein Abbruch erfolgt. Nun arbeitet die Brandung nach innen und höhlt (Fig. 134 b) einen Kessel von einiger Tiefe (im Mittel 1 m) aus, um den herum ein schmaler Rand von Serpulenkalkstein stehen geblieben ist. Das einem Atoll sehr ähnliche Hogsty-Riff des Bahama-Archipels erklärt Agassiz [192] ganz entsprechend, obwohl diesmal die Kalkmasse nicht von Serpulen, sondern von wirklichen Korallenpolypen abgeschieden wurde. — Der amerikanische Forscher verblieb also, so ungemein sich sein Gesichtskreis auch erweitert hatte, doch im grossen und ganzen in den Fusstapfen seines Vaters (S. 651) und bei den theoretischen Anschauungen, welche er sich früher bereits gebildet hatte [193], die aber durch seine späteren Beobachtungen keine Erschütterung in den Grundzügen erlitten hatten. Neue Riffe bilden sich auf submarinen Höhen, deren Material durch Sedimentation, Strömungen und Gezeiten erhöht wird, bis die den Korallentierchen genehme Wasserschicht erreicht ist. An der Luvseite siedeln sich die Polypen an und bauen fort bis zur Wasserfläche. Speziell Florida wird so durch konzentrisch gebaute Riffe (S. 650) immer weiter nach Süden ver-

längert, und in anderen Gegenden ergeben sich dadurch, dass die Windseite auch die Stelle bevorzugten Wachstums ist, auch andere Riffgestalten. — Mit Guppy (s. o.) kommen grossenteils Oldham und Lister überein, welche beide die zwei getrennten Korallenterrassen der Tonga-Insel Eua untersucht haben [194]. Ein vulkanischer Kern lag dem Meeresspiegel nahe genug, um zu einer korallinen Kolonienbildung einzuladen, und nachdem so der erste Absatz gebildet ward, fand eine namhafte Hebung statt, und in der daran sich anschliessenden Periode der Senkung oder Ruhe entstand der mantelförmige untere Terrassenabsatz samt dem Lagunenkanale. Eine zweite Hebung liess die Insel ihre gegenwärtige Höhe erreichen. — Man erkennt, dass, mancher Verschiedenheiten ungeachtet, die Murraysche Theorie die ist, mit welcher die bisher besprochenen Autoren doch immer die meiste Uebereinstimmung bekunden. Es trifft dies insbesondere auch für A. Geikie [195] zu, der hier den Abschluss bilden soll.

Neben den Gegnern soll nun auch den Verteidigern der älteren Lehre ihr Recht zu Teil werden. Da ist zuvörderst Langenbeck selbst zu nennen, der jedoch keineswegs voreingenommen für die Submergenztheorie ist, sondern ausdrücklich betont [196], dass nicht sämtliche bekannte Korallengebiete mit Senkungsfeldern übereinstimmen, sondern dass Westindien, Philippinen und Salomonen eine ausgesprochene marine Strandverschiebung und damit auch die charakteristische Regelmässigkeit der von Darwin geforderten Formen vermissen lassen. Der Nachweis [197], dass auch durch Murray und Guppy (s. o.) nicht alle Schwierigkeiten hinweggeräumt werden, ist als gelungen zu betrachten; wie wir vorhin schon andeuteten, liegt ein Stein des Anstosses darin, dass Murray dem Meere wesentlich die Austiefung der Lagune zuschreibt, während vielfach gerade durch die vom Meere ausgelösten Agentien eine Zuschüttung des Atollsees erfolgt. Zum dritten glaubt Langenbeck die oben (S. 645) mitgeteilte Ansicht, dass die Riffe der geologischen Vergangenheit in ihren Dimensionen nicht den Aufstellungen Darwins entsprächen, als unhaltbar zu erweisen [198], wobei er in Frech [199] einen Sekundanten findet. — Kritische Bemerkungen zu Murrays Theorie veröffentlichte auch v. Lendenfeld [200]. Das Wachstum des embryonalen Riffes hält er durch die auflösende Kraft des Salzwassers gefährdet. — Für die Anwendbarkeit der Darwinschen Theorie ist Heilprin [201] sogar im Spezialfalle der Bermudas eingetreten, welche Rein (S. 652) gerade als ein klassisches Beispiel des Gegenteiles gekennzeichnet hatte. — Im ganzen muss man sagen, dass Murrays Deduktion einleuchtender wäre, wenn sie nicht in einen gewissen Konflikt geriete mit der nun einmal feststehenden, erstlich durch Quoy und Gaimar konstatierten [202] Thatsache, dass die Korallen nur in einem Raume von geringer Vertikalausdehnung leben können. Doch werden immer gewisse Einwände Murrays und Guppys Beachtung verdienen, wie dies auch von Penck [203] anerkannt wird, der der Submergenztheorie durchaus nicht gegnerisch gegenübersteht.

Auch sonst werden von der Folgezeit noch gar manche Unsicherheiten beseitigt werden müssen, die sich vermehrten, seit man physiologisch tiefer mit den Lebensbedingungen der Lithophyten und geologisch genauer mit der Konstruktion der Riffe sich befasst hat. Dahin gehört namentlich der von Ortmann (S. 644) ermittelte Widerspruch gegen den Satz, dass Korallenbauten nur auf fester Grundlage sich erheben können. Auch die Mitwirkung anderer Kalk absondernder Organismen bedarf noch eingehender Prüfung; Walthers Beobachtungen [204] in der Meerenge zwischen Vorderindien und Ceylon gewähren dafür bereits mancherlei Anknüpfungspunkte.

Ein ebenso einfacher wie fruchtbarer Gedanke ist von Dana [205] in die Diskussion geworfen worden: Durch direkte Bohrversuche soll die Dicke eines Korallenriffes bestimmt werden. Versuche dieser Art, auf den Sandwich-Inseln wirklich angestellt, glaubte Dana, allerdings nicht im Einverständnis mit A. Agassiz, als Beweis für stattgehabte Senkung verwerten zu dürfen [206]. Mit besserer Ausrüstung und ausgedehnterem Plane nahm Sollas [207] auf dem uns (S. 648) bekannten Inselchen Funafuti die Bohrungen in Angriff, und da wir jetzt wissen, dass der Steinbohrer alldort selbst in 196 m Tiefe den korallinen Fels noch nicht vollständig durchdrungen hatte [208], so müssen wir einräumen, dass ein solches Ergebnis nicht wohl mit der Murrayschen, um so besser jedoch mit der Darwinschen Hypothese zu vereinbaren ist. Für Wallriffe und Atolle dürfen wir mit Langenbeck [209] habituelle Senkungsgebiete, für Saumriffe und die von diesem Autor Flachseeriffe genannten Strandriffe Kra-

mers (S. 647) dürfen wir ebenso habituelle Hebungsgebiete als örtliches Substrat postulieren, und damit ist zugleich jeder einseitigen Erklärungsweise ein Riegel vorgeschoben. Wie das gemeint ist, soll unverzüglich auseinandergesetzt werden.

Wir haben die sehr stark variierten Hypothesen, die man für die Phänomene der Riffbildung ausgesonnen hat, Revue passieren lassen und stehen vor der Verpflichtung, zu einem Schlusse zu gelangen, der die Hauptpunkte übersichtlich zusammenfasst. Derselbe geht nun zunächst dahin: Eine allseitig befriedigende, jede Einzelheit systematisch festlegende Erklärung gibt es nicht und kann es auch nicht geben — erstens deshalb, weil die Zeit, innerhalb deren die Erforschung der so weit verstreuten Korallenbildungen ernstlich betrieben wird, erst eine ziemlich kurze ist, und dann auch aus dem nicht genug zu beherzigenden Grunde, dass die Natur nicht immer dasselbe Schema einhält — ein Leitsatz, dessen wir uns in diesem Buche schon zu wiederholtenmalen zu erinnern hatten. Unzweifelhaft fest steht, dass in sehr vielen Fällen Darwins Senkungstheorie unserem Kausalitätsbedürfnis am meisten zusagt, aber nicht minder halten wir uns überzeugt, dass an Orten, die jeden Anzeichens positiver Niveauverlegung entbehren, Murrays Elevationstheorie mehr Garantien gewährt. Auch das Verhalten des Meeres zur Lagune braucht kein einheitliches zu sein; warum sollte nicht auf der einen Insel die Brandung eine Vertiefung der Lagune bewirken, während auf der anderen die vom Meere mitgeführten Festkörper den vorhandenen Hohlraum ausfüllen? Selbst Krämers Annahme, die Polypen wählten besonders gerne die Ränder submariner Krater, um ihre Bauwerke zu beginnen, dünkt uns nicht an sich verwerflich. Neben anderen Hilfsmitteln scheinen die Tiefbohrungen der Ergründung des uns in den lithophytischen Bildungen vorliegenden Geheimnisses den meisten Vorschub zu leisten. Wenn es sich bestätigt, dass bei vielen Riffen die Mächtigkeit eine solche ist, wie es die Submergenztheorie verlangt, so ist der schwerstwiegende Einwurf gegen jene aus dem Wege geräumt, und man kann zugeben, dass Darwins Auffassung vom Wesen der drei Riffgattungen in der Mehrzahl der Fälle zutrifft; doch muss auch jetzt noch für wesentlich verschiedene Riffbildungen anderer Gegenden — Florida, Salomonen — eine andere Theorie als berechtigt anerkannt werden, und zwar wird, je nach Umständen, der von Murray oder von A. Agassiz vorgezeichnete Weg zu betreten sein.

[1] E. A. W. Zimmermann, Specimen zoologicae geographicae, Leiden 1777, S. 623. — [2] H. Fischer, Ueber einige Gegenstände der physischen Geographie bei Strabo, Wernigerode 1878, S. 3. — [3] Merula, Cosmographiae generalis libri tres, Amsterdam 1636, I, S. 187 ff. — [4] Philippson, Zwei Vorläufer des Varenius, A., LXV, S. 817 ff. — [5] Varenius, Geographia generalis, ed. Newton, Cambridge 1672, S. 84 ff. — [6] Humboldts Werke, I, S. 52. — [7] Wülfer, De majoribus oceani insulis earumque origine brevis disquisitio, Nürnberg 1691. — [8] Humboldt-Ideler, Kritische Untersuchungen über die Geschichte der Geographie der Neuen Welt und über die Fortschritte der nautischen Astronomie im XV. und XVI. Jahrhundert, I, Berlin 1836, S. 91 ff. — [9] Wülfer, a. a. O., S. 23. — [10] Kepleri Opera omnia, ed. Frisch, III, Frankfurt a. M.-Erlangen 1859, S. 151. — [11] Wülfer, S. 50 ff. — [12] Peschel-Ruge, Geschichte der Erdkunde bis auf A. v. Humboldt und C. Ritter, München 1877, S. 105. — [13] A. E. v. Nordenskiöld, Studien und Forschungen, veranlasst durch meine Reisen im hohen Norden, Leipzig 1885, S. 1 ff. — [14] S. Ruge, Geschichte des Zeitalters der Entdeckungen, Berlin 1881, S. 26 ff. — [15] Wallace, The Malay Archipelago, London 1869; Wallace-A. B. Meyer, Der Malayische Archipel, Braunschweig 1869; Island Life, London 1880. — [16] Peschel, Ueber den Ursprung der Inseln, A., XXXIX, S. 65 ff. — [17] Peschel, Neue

Probleme der vergleichenden Erdkunde, als Versuch einer Morphologie der Erdoberfläche, Stuttgart 1878, S. 24 ff. — [18] F. G. Hahn, Inselstudien; Versuch einer auf orographische und geologische Verhältnisse gegründeten Einteilung der Inseln, Leipzig 1883. — [19] Munz, Exercitatio academica de insulis natantibus, Altdorf 1711. — [20] Früh, Schwimmende Inseln, G. Z., II, S. 216 ff. — [21] Kant-F. W. Schubert, Schriften zur physischen Geographie, Leipzig 1839, S. 521. — [22] Ochsenius, Eine schwimmende Insel im Atlantischen Ozean, P. G. M., XXXIX, S. 44. — [23] Penck, Morphologie der Erdoberfläche, II, Stuttgart 1894, S. 10. — [24] Marno, Die Sumpfregion des äquatorialen Nilsystems und deren Grasbarren, P. G. M., XXIX, S. 419. — [25] Keilhack, Der baltische Höhenrücken, J. p. G. L., 1889, S. 205 ff. — [26] G. P. W., VIII, S. 1240 ff. — [27] Munz, a. a. O., S. 10 ff. — [28] Hahn, a. a. O., S. 175. — [29] Mac Millan, Ueber das Auftreten von Torfmoos-Atollen im zentralen Minnesota, M. B. St., 1894, I, Nr. 9. — [30] Kohlenberg, Das schwimmende Land von Waakhausen, Gl., LXXIV, S. 21 ff. — [31] Huc-Gabet, Wanderungen durch das chinesische Reich, deutsch von Andree, Leipzig 1855, S. 215. — [32] Früh, a. a. O., S. 218. — [33] Peschel, Die Tier- und Pflanzenwelt der Inseln, A., XXXIX, S. 113 ff.; Neue Probleme etc., S. 44 ff. — [34] Wallace, The Mal. Arch., II, S. 18 ff. — [35] Supan, Grundzüge der physischen Erdkunde, Leipzig 1896, S. 557, 627. — [36] Ebenda, S. 652. — [37] Peschel, a. a. O., S. 35. — [38] Ebenda, S. 51. — [39] Ebenda, S. 55. — [40] G. Baur, The Differentiation of Species in the Galápagos Islands and the Origin of the Group, B. B. L., 1895. — [41] Ch. Darwin-Carus, Reise eines Naturforschers um die Welt, Stuttgart 1893, S. 405 ff. — [42] De la Espada, Las Islas de los Galápagos y otras más á poniente, Madrid 1892. — [43] A. Agassiz, General Sketch of the Expedition of the „Albatross“, M. M. C. Z., XXIII, S. 70 ff.; G. Baur, Prof. Alexander Agassiz and the Origin of the Fauna and Flora of the Galápagos Islands, Sc., XIX, S. 176 ff. — [44] Th. Wolf, Die Galápagos-Inseln, V. G. E. B., XXII, S. 246 ff. — [45] Peschel, S. 177. — [46] Doberentz, Die Erd- und Völkerkunde in der Weltchronik des Rudolf von Hohenems, Z. d. P., XIII, S. 201. — [47] Clarke, Examination of the Legend of Antarctis in Reference to protohistoric Communication with America, London 1886. — [48] Krümmel, Bemerkungen zur Tiefenkarte des Indischen Ozeans, Z. w. G., II, S. 117. — [49] Hahn, S. 18 ff. — [50] Wallace, Isl. Life, S. 399 ff. — [51] Stow, On the probable Existence of an ancient Southern Continent, Q. J. G. S., XXVII, S. 546 ff. — [52] H. F. Blanford, On the Age an Correlations of the Plantbearing Series of India and the former Existence of an Indo-Oceanic Continent, ebenda XXXI, S. 519. — [53] E. Suess, Das Antlitz der Erde, I, Prag-Leipzig 1885, S. 534 ff. — [54] Neumayr-Uhlig, Erdgeschichte, II, Leipzig-Wien 1892, S. 332. — [55] Zoeckler, Geschichte der Beziehungen zwischen Theorie und Naturwissenschaft, I, Gütersloh 1877, S. 194, 278 ff. — [56] v. Jhering, Die Paläogeographie Südamerikas, A., LXVI, S. 11 ff., 26 ff., 41 ff., 55 ff. — [57] Kobelt, Studien zur Zoogeographie, I, Wiesbaden 1897; II, ebenda 1898. — [58] v. Richthofen, Führer für Forschungsreisende, Berlin 1886, S. 380. — [59] J. R. Forster-G. Forster, Bemerkungen auf einer Reise um die Welt, Berlin 1783, S. 126 ff. — [60] Rittau, J. R. Forsters Bemerkungen auf seiner Reise um die Welt, Hanau 1881, S. 6 ff. — [61] v. Chamisso, Kotzebues Entdeckungsreise nach der Südsee und nach der Beringsstrasse, III, Weimar 1821, S. 29 ff. — [62] Buffon, Histoire naturelle, II, Zweibrücken 1785, S. 250 ff. — [63] v. Buch, Ueber die Zusammensetzung der basaltischen Inseln und über Erhebungskrater, L. M. T., 1821, S. 391 ff. — [64] Hoffmann, Physikalische Geographie, Berlin 1837, S. 101 ff. — [65] Kapp, Philosophie der Erdkunde, I, Braunschweig 1845, S. 73. — [66] Wallace, Isl. Life, S. 234 ff. — [67] Ratzel, Anthropogeographie oder Grundzüge der Anwendung der Geschichte auf die Geographie, I, Stuttgart 1882, S. 90 ff. — [68] Peschel, N. Probl., S. 24 ff. — [69] A. Kirchhoff, Das genetische Inselsystem, Z. w. G., III, S. 169 ff. — [70] v. Richthofen, Bemerkungen zum genetischen Inselsystem, ebenda, III. S. 240 ff.; Führer etc., S. 382 ff. — [71] Hahn, S. 34 ff., 116 ff., 165 ff. — [72] Supan, S. 551 ff. — [73] Penck, II, S. 630 ff. — [74] v. Richthofen, ebenda, S. 387. — [75] P. Sarasin, Die Insel Celébes, V. G. E. B., XXIII, S. 337 ff. — [76] Neumayr, Zur Geschichte des östlichen Mittelmeerbeckens, Berlin 1882; Philippson, Die griechischen Inseln des Aegäischen Meeres, ebenda, V. G. E. B., S. 264 ff. — [77] Groller v. Mildensee, Die Inselgruppe Pelagosa, D. R. G. St., XVIII, S. 159 ff. — [78] Peschel, S. 30. — [79] Marchesetti, Cenni geologici sull' isola di Sansego, Triest 1882. — [80] Hahn, S. 62 ff.; 72 ff. — [81] v. Lasaulx, Sizilien; ein geographisches Charakterbild, Bonn 1879, S. 4; Th. Fischer, Beiträge zur physischen Geographie der Mittelmeerländer, Leipzig 1877, S. 4 ff. — [82] Grosser, St. Helena, G., XXXIII, S. 82 ff. — [83] Penck, Besprechung zu Hahn, V. G. E. B., XI, S. 427. — [84] Supan, Grundzüge der physischen Erdkunde (1. Aufl.). Leipzig 1884, S. 210 ff. — [85] Supan (2. Aufl.), S. 560 ff. — [86] Penck, Morph. etc., II, S. 633. — [87] v. Jhering, a. a. O., S. 11. — [88] Hiekisch, Das System des Urals, Dorpat 1882, S. 229 ff. — [89] Gorceix, L'île de Kos, L. J., 1874, II, S. 78; Phénomènes de Nisyros, C. R., LXXVIII, S. 444 ff. — [90] Mohn, Die norwegische Nordmeerexpedition, P. G. M., XXVI, S. 6. — [91] O. Lenz, Die Malta-Gruppe, D. R. G. St., XVIII, S. 1 ff. — [92] v. Kalbermatten, Die Schlangen-Insel im Schwarzen Meere, ebenda, XIII, S. 562 ff. — [93] Oppel, Neu-Guinea, D. G. Bl., XVI, S. 20 ff. — [94] Supan, Die neue Insel in der Südsee, P. G. M., XXXVI, S. 107 ff. — [95] Varenius, a. a. O., S. 365 ff. — [96] Hahn, S. 166 ff. — [97] Peschel-Ruge, S. 150 ff. — [98] Ch. Henry, Les voyages de Balthasar de Monconys, Paris 1887. — [99] J. Walther, Die Korallenriffe der Sinaihalbinsel, Leipzig 1888, S. 1 ff. — [100] Comenius, Physicae ad lumen divinum reformatae synopsis, ed. et transl. J. Reber, Giessen 1896, S. 220. — [101] Statius Müller, Dubia coraliorum origini animali opposita, Erlangen 1769; holländisch, Dordrecht 1771. — [102] Graf Marsigli, Histoire physique de la mer, IV, Amsterdam 1725. — [103] Trembley-Goeze, Abhandlungen zur Geschichte einer Polypenart des süssen Wassers mit hörnerförmigen Armen, Quedlinburg 1775; Mémoires pour servir à l'histoire d'un genre de polypes d'eau douce à bras en forme de cornes, Leiden 1744. — [104] Dannemann, Grundriss einer Geschichte der Naturwissenschaften; zugleich eine Einführung in das Studium der naturwissenschaftlichen Litteratur, I, Leipzig 1896, S. 122 ff. — [105] Ehrenberg, Die Korallentiere des Roten Meeres physiologisch untersucht und systematisch verzeichnet, Berlin 1834; A. P. C., XLI, S. 243 ff. — [106] Laue, C. G. Ehrenberg, ein Vertreter deutscher Naturforschung im neunzehnten Jahrhundert, Berlin 1895, S. 172 ff. — [107] Carus, Geschichte der Zoologie, München 1872, S. 683 ff. — [108] H. Haas, Die Leitfossilien; Synopsis der geologisch wichtigsten Formen des vorweltlichen Tier- und Pflanzenreiches, Leipzig 1887, S. 40. — [109] Milne Edwards-Haime, Histoire naturelle des coralliaires, Paris 1857—60. — [110] Walther, a. a. O., S. 32 ff. — [111] Ebenda, S. 43. — [112] Ebenda, S. 58. — [113] Klunzinger, Bilder aus Oberägypten, der Wüste und dem Roten Meere, Stuttgart 1878. — [114] Ch. Darwin-Carus, a. a. O., S. 495 ff. — [115] Kraemer, Ueber den Bau der Korallenriffe und die Planktonverteilung an der samoanischen Küste, Kiel 1897; Ortmann, Die Korallenriffe von Dar-es-Salaam und Umgegend, Z. J. S., VI, 631 ff. — [116] v. Richthofen, S. 408. — [117] v. Richthofen, Geognostische Beschreibung von Predazzo, St. Cassian und der Seisser Alp, Gotha 1860. — [118] v. Mojsisovics, Die Dolomitriffe von Südtirol und Venetien, Wien 1879. — [119] Neumayr-Uhlig, a. a. O., II, S. 201. — [120] Jouan, La Polynésie, B. S. G.

C. H., 1895, S. 138 ff. — [121] J. Walther, Allgemeine Meereskunde, Leipzig 1893, S. 190. — [122] Ebenda, S. 219. — [123] Dollo, La formation des îles, B. S. B. G., 3. Dezember 1896. — [124] Supan, S. 564. — [125] E. Kayser, Lehrbuch der allgemeinen Geologie, Stuttgart 1893, S. 311. — [126] Wharton, Masámarhu Island, N., XXXVI, S. 413. — [127] Th. Studer, Ueber einige wissenschaftliche Ergebnisse der Gazellen-Expedition, namentlich in zoogeographischer Beziehung, V. II. D. G., S. 25. — [128] Penck, II, S. 646 ff. — [129] Kraemer, a. a. O., S. 70 ff. — [130] Steinbach, Die Marshall-Inseln, V. G. E. B., XXII, S. 449 ff. — [131] O. Baumann, Die Insel Sansibar, W. V. V. E. L., III, 2. Heft. — [132] K. J., VIII, S. 150 ff. — [133] O. Baumann, Die Insel Mafia, W. V. V. E. L., III, 1. Heft. — [134] v. Eggers, Die Insel Tobago, D. G. Bl., XVI, S. 1 ff. — [135] Brauer, Die Seychellen, V. G. E. B., XXXIII, S. 300 ff. — [136] Rosset, Die Malediven-Inseln, M. G. G. W., 1897, S. 597 ff. — [137] Ibn Batutas Reisen, übers. von Defremery und Sanguinetti, II, Paris 1854, S. 207 ff. — [138] K. Martin, Die Entstehung des ost- und westindischen Archipels, G. Z., II, S. 361 ff. — [139] Ch. Darwin, On the Structure and Distribution of Coral Reefs, also Geological Observations on the Volcanic Islands and Parts of South-America visited during the Voyage of H. M. S. Beagle, London 1842; 2. Aufl., ebenda, 1874; 3. Aufl., ebenda 1890 (besorgt von Judd); Darwin-Carus, Ueber den Bau und die Verbreitung der Korallenriffe, Stuttgart 1876; Darwin-Cosserat, Les récifs de corail, leur structure et leur distribution, Paris 1878. — [140] Dana, Ueber die Fortpflanzung der Zoophyten und ihren zusammengesetzten Bau, F. N. N. H., 1847, Sp. 49 ff. — [141] Dana, On Coral Reefs and Islands, A. J. S., XI, S. 357 ff.; XII, S. 25 ff., 165 ff., 329 ff.; XIII, S. 34 ff., 185 ff., 338 ff.; XIV, S. 76 ff. — [142] Dana, Coral and Coral Islands, London 1872; 3. Aufl., New York 1890. — [143] Die Entstehung der Korallenriffe, K., (2) I, S. 210 ff. — [144] Henrich, Korallenbauten, H., I, S. 252 ff.; II, S. 374 ff. — [145] L. Boettger, Geschichtliche Darstellung unserer Kenntnisse und Meinungen von den Korallenbauten, Leipzig 1890. — [146] Langenbeck, Die Theorien über die Entstehung der Koralleninseln und Korallenriffe und ihre Bedeutung für geophysische Fragen, Leipzig 1890; Die neueren Forschungen über die Korallenriffe, G. Z., III, S. 514 ff., 566 ff., 634 ff. — [147] Hahn, S. 176. — [148] F. Hoffmann, a. a. O., S. 133. — [149] Beechey, Narrative of a Voyage to the Pacific and Behring-Strait, London 1881. — [150] Langenbeck, Das Atoll Funafuti in der Ellice-Gruppe, P. G. M., XLIII, S. 197 ff. — [151] G. Gerland, Vulkanistische Studien, I, B. G., II, S. 25 ff. — [152] Ch. Darwin-Carus, Reise etc., S. 514. — [153] Ch. Darwin-Carus, Ueber etc., S. 96 ff. — [154] Ch. Darwin-Carus, Reise etc., S. 522. — [155] Hahn, S. 180. — [156] Humboldt, Werke, XI, S. 210 ff. — [157] Lyell, Principles, II, S. 600 ff. — [158] Rittau, a. a. O., S. 8. — [159] Hann-v. Hochstetter-Pokorny, Allgemeine Erdkunde, Prag 1881, S. 382. — [160] Peschel, S. 31 ff. — [161] Reclus, La Terre, I, Paris 1869, S. 793. — [162] Marinelli, Carlo Roberto Darwin e la geologia, Venedig 1883. — [163] Boccardo, Pirosismologia, Genua 1869, S. 355 ff. — [164] Malfatti, Scritti geografici ed etnografici, Mailand 1869, S. 186 ff. — [165] Stoppani, Dinamica terrestre, Mailand 1871, S. 487 ff. — [166] L. Agassiz-E. C. Agassiz-Mettenius, Leben und Briefwechsel, Berlin 1886, S. 273. — [167] Ebenda, S. 276 ff. — [168] A. Agassiz, On the Tortuga and Florida Reefs, M. A. A. S. A., XI, 1885; L. Agassiz, On the Physical Condition of the Florida Reef, M. M. M., 1870, S. 289 ff. — [169] Le Conte, On the Agency of the Gulf Stream in the Formation of the Penninsula and the Keys of Florida, Albany 1856. — [170] Semper, Reisebericht an Kölliker, Z. w. Z., XIII, S. 563 ff.; Die Philippinen und ihre Bewohner, Würzburg 1869, S. 100 ff. — [171] Rein, Beiträge zur physikalischen Geographie der Bermudas-Inseln, J. S. G. F., 1870, S. 158 ff. — [172] Rein, Die Bermudas-Inseln und ihre Korallenriffe, nebst einem Nachtrage gegen die Darwinsche Senkungstheorie, V. I. D. G., S. 30 ff. — [173] v. Fritsch, Allgemeine Geologie, Stuttgart 1888, S. 240 ff. — [174] Dupont, Les îles coralliennes de Roly et de Philippeville, Brüssel 1882. — [175] Liebe, Ein Bryozoenriff, H., II, S. 264 ff. — [176] Th. Studer, a. a. O., S. 23 ff. — [177] Murray, On the Structure and Origin of Coral Reefs and Islands, P. G. S. E., 1880, S. 505 ff.; N., XXII, S. 35 ff.; v. Richthofen, S. 403 ff.; v. Pourtalès, Der Boden des Golfstromes und der Atlantischen Küsten, P. G. M., XVI, S. 393 ff. — [178] v. Richthofen, S. 406. — [179] Langenbeck, Die neueren Forschungen etc., S. 517. — [180] Henrich, a. a. O., II, S. 380. — [181] Guppy, The Cocos-Keeling Islands, Sc. G. M., V, S. 281 ff., 457 ff., 569 ff.; Observations on the recent Calcareous Formations of the Salomon Group, made during 1882—84, N., XXXIII, S. 202 ff. — [182] Guppy, A Criticism of the Theory of Subsidence as affecting Coral Reefs, Sc. G. M., IV, S. 121 ff. — [183] Bourne, The Atoll of Diego Garcia and the Corall Formations of the Indian Ocean, N., XXVII, S. 546. — [184] Murray-Irvine, Coral Reefs and other Carbonate of Lime Formations in modern Seas, N., XLII, S. 162 ff. — [185] Coral Formations, N., XXXVII, S. 393, 414, 461, 488, 509, 535, 584; XXXVIII, S. 54; XLII, S. 81, 148, 167, 172; XLVIII, S. 575 ff. — [186] Langenbeck, a. a. O., S. 522 ff. — [187] F. A. Campbell, Some Coral and Volcanic Islands of the Western Pacific, T. G. S. A. A., VI, 2, S. 19 ff. — [188] A. Agassiz, A Visit to the Great Barrier Reef of Australia, A. J. S., (4) II, S. 240 ff. — [189] Savile-Kent, The Great Barrier Reef of Australia, its Product and Potentialities, London 1893. — [190] A. Agassiz, The Coral Reefs of the Hawaiian Islands, B. M. C. Z., XVII, S. 121 ff.; A Reconnoissance of the Bahamas and the Elevated Reefs of Cuba, ebenda, XXVI, S. 1 ff.; A Visit to the Bermudas, ebenda, S. 205 ff. — [191] Ebenda, S. 253 ff. — [192] Agassiz, A Reconnoissance etc., S. 103 ff. — [193] Zur Theorie über die Bildung der Koralleninseln, A., XXX, S. 27 ff. — [194] Oldham, Eua Island, Tonga Group, N., XLII, S. 85 ff.; Lister, Notes on the Geology of the Tonga Islands, Q. J. G. S., XLVII, S. 590 ff. — [195] Geikie, The Origin of Coral Reefs, N., XXIX, S. 107 ff. — [196] Langenbeck, Die Theorien etc., S. 115 ff. — [197] Ebenda, S. 30 ff. — [198] Ebenda, S. 110 ff. — [199] Frech, Besprechung zu Langenbeck, N. J. M. G. P., 1892, II, S. 169 ff. — [200] v. Lendenfeld, Bemerkungen zu Murrays Theorie über den Bau der Korallenriffe, G., XXVI, S. 196 ff.; Coral Reefs, fossil and recent, N., XLII, S. 29 ff. — [201] Heilprin, The Bermudas Islands; a Contribution to the Physical History and Zoology of the Somers Archipelago, with an Examination of the Structure of Coral Reefs, Philadelphia 1889. — [202] Quoy-Gaimar, Mémoire sur le croissement des polypes lithophytes, A. Sc. N., VI, S. 273 ff. — [203] Penck, II, S. 661. — [204] J. Walther, Die Adamsbrücke und die Korallenriffe der Palkstrasse, P. G. M., E. H. Nr. 102. — [205] Dana, Origin of Coral Reefs and Islands, A. J. S., (3) XXX, S. 180 ff. — [206] Dana, Points on the geological History of the Islands Maui and Oahu, ebenda, (3) XXXVII, S. 89 ff.; A. Agassiz, The Coral Reefs etc., S. 154. — [207] Sollas, Report on the Coral Reef at Funafuti, N., LV, S. 373 ff. — [208] Die Arbeiten der Korallenexpedition auf Funafuti, G. Z., III, S. 643. — [209] Langenbeck, Die neueren Forschungen etc., S. 641 ff.

Achte Abteilung.

Das Festland mit seiner Süsswasserbedeckung.

Kapitel I.

Aufbau und Zusammensetzung der Erdrinde.

§. 1. Der Endzweck der Geophysik. Ehe die sachliche Entwickelung der in diese Schlussabteilung gehörigen Materien ihren Anfang nimmt, ist es wohl am Platze, den Weg und das Ziel, zu welchem derselbe führen soll, zum Gegenstande einer kurzen Betrachtung zu machen. Die Geophysik hat, wie schon eingangs (I, S. 35 ff.) darzulegen versucht wurde, einen ganz bestimmten, scharf umrissenen Inhalt, und zwar kann man, wie dies an einem anderen Orte [1] methodisch näher erörtert wurde, den Gegensatz zwischen unserer Disziplin und der ihr nächst verwandten — einen Gegensatz, der selbstverständlich kein schroffer ist und die vielfältigsten Berührungen nicht ausschliesst — etwa dahin kennzeichnen: Die mathematische Geographie sucht einen gegebenen Erdort zu fixieren, durch seine drei Koordinaten zu bestimmen; die physikalische Geographie fragt, wie dieser Ort beschaffen und weshalb er gerade so beschaffen ist, wie wir ihn kennen. Diese letzte Aufgabe ist morphologischen Charakters, und es drängt sich uns mithin die Ueberzeugung auf, dass in der Erdmorphologie die eigentliche Krönung des Lehrgebäudes, welches wir aufrichten wollen, gesucht werden müsse.

Auch bisher war eine stete Rücksichtnahme auf die morphologischen Fragen erkennbar. Die erste Abteilung suchte zu zeigen, wie unsere Erde als Weltkörper die verschiedensten Etappen zurückzulegen hatte, um der kleine, stark abgekühlte Ball zu werden, dessen verschiedene Bewegungen — so vieles auch hier noch strittig ist — recht wohl morphologische Folgen haben können, und deren wurde auch in der zweiten Abteilung gedacht. Veränderungen der Erdoberfläche spielten auch in der dritten Abteilung keine ganz unwesentliche Rolle, denn vulkanische Eruptionen und seismische Umwälzungen haben viel dazu beigetragen, das Aussehen mancher Erdgegend von Grund aus zu verändern. Die vierte Abteilung kommt hier weniger in Betracht; was die fünfte und sechste, atmosphärische und ozeanische Physik, anlangt, so liegt bei ihnen die indirekte morphologische Bedeutung klar zu Tage, denn bewegte Luft und bewegtes Meerwasser sind ja so machtvolle Agentien, dass ihrem Wirken stets besondere Rechnung getragen werden muss. Die hier zerstörende, dort aufbauende und neu gestaltende Aktion des Meeres erscheint sogar so wichtig, dass ihr eine eigene Abteilung, die siebente, eingeräumt

wurde. Der nunmehr beginnenden achten bleibt die Lehre von der Lithosphäre (vgl. I, S. 38) vorbehalten, wobei natürlich auch auf das von dieser untrennbare Wasser in seinen verschiedenen Aggregatzuständen Rücksicht genommen werden muss.

Somit ergibt sich eine natürliche und dem stets im Auge behaltenen Endzwecke angepasste Gliederung des reichen Inhaltes dieser Abteilung. Das erste Kapitel beschäftigt sich mit der starren Erdrinde (I, S. 357), mit den sie zusammensetzenden Stoffen und mit deren räumlicher Anordnung. Das zweite hat es, um den von Penck [2] zweckmässig eingeführten Ausdruck zu gebrauchen, mit der Landoberfläche, mit dem äusseren Aspekt der Lithosphäre, zu thun, und zwar wird nur das aktuelle Sein, die Formenmannigfaltigkeit betrachtet, ohne einstweilen das genetische Moment zu beachten. Die Versuche, auch diese anscheinende Formenanarchie geometrischen Gesetzen dienstbar zu machen, sollen dabei auch zu ihrem Rechte gelangen. Das gefrorene Süsswasser nimmt das dritte, das tropfbare Süsswasser nimmt das vierte Kapitel in Anspruch; auch in diesen beiden Abschnitten kommt nur die geographische und physikalische Seite der Sache zur Geltung, während die geologisch-genetische — Entstehung der Seebecken, Verlegung der Flussläufe u. s. w. — noch ausgeschieden bleibt*). Alles endlich, was auf die Gestaltung der Landoberfläche im weitesten Sinne Bezug hat, findet im V. Kapitel seinen Platz, in welchem von allen früheren Abteilungen, höchstens die vierte ausgenommen, umfassender Gebrauch zur Lösung der so zahlreichen allgemeinen und speziellen Probleme gemacht werden wird. Dieses Programm dürfte dazu dienen, Reihenfolge und Inhalt der einzelnen Kapitel — und auch wiederum der Paragraphen dieser Kapitel — als in einem natürlichen Zusammenhange stehend erscheinen zu lassen.

§. 2. **Kosmogonie und Geogonie.** Die Weltentstehungslehre oder Kosmogonie, über deren Wesen Abt. I, Kap. I einiges Licht zu verbreiten suchte, hat mit dem Augenblick ihr Ende erreicht, als die frei im Weltraume schwebende Erdkugel ihr planetarisches Sonderdasein begann, sich von dem gigantischen Gasballe, der sämtlichen Bestandteilen unseres Sonnensystemes das Leben gab, losgelöst hatte. Die Kosmogonie wird abgelöst durch die Geogonie, deren Pflicht es ist, die Herausbildung jener Erde, die wir kennen, und die unser augenblickliches Untersuchungsobjekt ist, aus dem erwähnten Urzustande kennen zu lernen.

Wie die Erde im Inneren aussieht, können wir nicht direkt erforschen; in diesem Punkte sind und bleiben wir angewiesen auf Hypothesen, wie im II. Kapitel der dritten Abteilung des Näheren dargelegt wurde. Wenn wir also von Geogonie sprechen, so haben wir einzig die Lehre von der Bildung der Erdrinde im Auge, deren Aufbau uns durch die Geognosie (γῆ, Erde; γνῶσις, Erkenntnis) erschlossen worden ist.

Eine gedrängte Uebersicht über die geognostischen Anschauungen älterer und neuerer Zeit darf an diesem Orte nicht fehlen. Erst seit diesem Jahrhundert gibt es zusammenfassende Darstellungen der Entwickelung dieser Lehren. Zu den ältesten Versuchen dieser Art gehört Munckes Lexikonartikel „Geologie“ [1] und der dritte Band des die Gesamtgeschichte der Naturwissenschaften einheitlich zusammenfassenden, noch jetzt lesenswerten Werkes von Whewell [2]. Einen freilich nur kurzen Zeitraum hat D'Archiac mustergiltig bearbeitet [3]. Nicht umgangen darf Zoecklers erschöpfender Bericht [4] über die geogonischen Spekulationen werden, welche auf das Sechstagewerk der Bibel und auf die Lehre von der Sintflut Bezug nehmen. Die neueste Zeit hat uns das die Grundthatsachen trefflich hervorhebende Werkchen J. Geikies [5] gebracht, und die Studierenden des

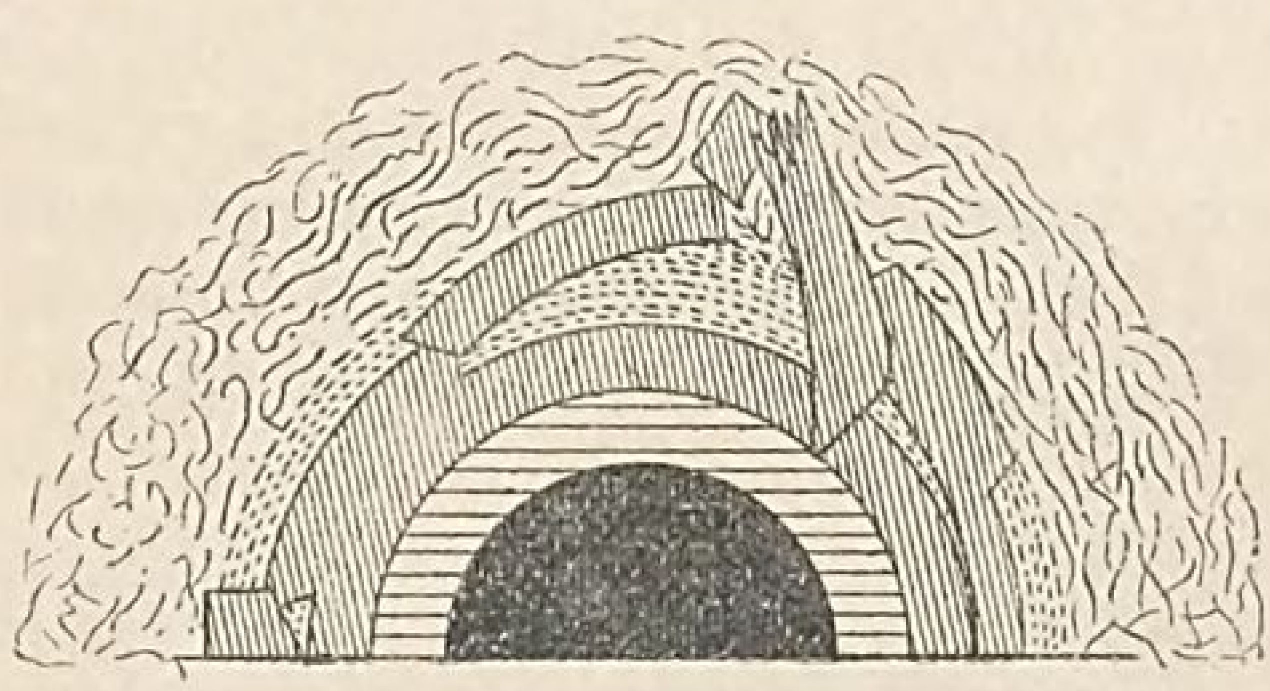
*) In der ersten Auflage dieses Werkes wurde, was sich als eine Verfehlung gegen das System zu erkennen gab, eine so scharfe Scheidung zwischen morphographischen und morphologischen Partien nicht beobachtet.

XX. Jahrhunderts werden sich an K. v. Zittels „Geschichte der Geologie"*) halten können, welche der durch König Max II. von Bayern ins Leben gerufenen „Geschichte der Wissenschaften in Deutschland" als Bestandteil angehört, sich jedoch keineswegs an politische oder sprachliche Grenzen bindet, sondern nur eben die deutschen Leistungen kräftig hervortreten lässt.

§. 3. **Die Geogonie der Zeit vor Werner.** Vom eigentlichen Altertum sehen wir hier ab; insoweit es Fragen dieser Art wissenschaftlich, und nicht mythologisch auffasste, ist ihm in diesem Buche bereits bei verschiedenen Gelegenheiten Rechnung getragen worden. Auch das Mittelalter soll uns nicht besonders beschäftigen. Erst im XVII. Jahrhundert kann mit besserem Erfolge der Versuch gewagt werden, sich über die Bildung der Erdkruste ein Urteil zu bilden; Descartes und Leibniz stehen vor der Pforte einer neuen Zeit auf der einen, Steno steht auf der anderen Seite.

Die einschlägigen Meinungsäusserungen griechisch-römischer Schriftsteller unter denen ja Posidonius, Strabon, Lucilius, Seneca ganz ernst zu

Fig. 135.



Erdkern. Magma. Kruste. Wasserhülle. Lufthülle.

nehmen sind, hat v. Lasaulx [6] sehr gründlich untersucht; in Verbindung damit mögen auch Links [7] Untersuchungen über die Kosmo- und Geogonien der orientalischen Völker beachtet werden. Umsetzungstheorien, denen zufolge nach Ablauf langer Zeiträume Land zu Meer und Meer zu Land werden sollte (S. 558), waren für die antike Weltanschauung etwas ganz Natürliches; von dem Astrologen Firmicus Maternus rührt nach v. Lasaulx [8] „eine wohldurchdachte Darstellung der Lehre von der kosmischen ἀποκατάστασις" her. Die Bedeutung Strabons wird durch die Schriften von Fischer [9] und Serbin [10] ins richtige Licht gestellt. — Wie die Kirchenväter und Scholastiker über solche Dinge dachten, zeigt uns am besten die mehrfach citierte Monographie von Kretschmer [11]; man erkennt mit Ueberraschung, dass mit unverbrüchlicher Verehrung des Dogmas oft sehr freie Interpretationen des Hexaëmerons (ἕξ, sechs; ἡμέρα, Tag) Hand in Hand gingen, wie dies früher schon aus Gregors des Nysseners Chaoslehre (I, S. 349) hervorgehen konnte. Was die Araber anlangt, so hat Élie de Beaumont [12] auch bei ihnen Ansätze zu selbständig geogonischem Denken aufgezeigt.

Die lange unbemerkt gebliebene Theorie des Cartesius ist uns erst durch Daubrée [13] bekannt geworden. Wie er sich die Beschaffenheit der Erde und die Loslösung des festen Landes vom Meere vorstellte, ersehen wir aus Fig. 135. Der Erdkern ist teilweise feuerflüssig vorausgesetzt und über dem Magma (I, S. 349) ist gewölbeartig die starre Kruste ausgespannt, ihrerseits wieder von der Atmosphäre umgeben. Unter dem magmatischen Auftriebe kam die Rinde ins Bersten,

*) Der Verf. ist Herrn Geheimrat Dr. v. Zittel für die Gestattung des Einblickes in die Aushängebogen bestens zu Dank verpflichtet.

und dann geschah, wie die Zeichnung erkennen lässt, ein doppeltes: Einzelne der zerstückten Schollen treten höher hervor, und das Wasser füllt die durch den Akt des Zerreissens entstandenen Hohlräume an.

Ganz ähnlich gestaltet sich bei Leibniz [14] die Bildung der Aussenschichten und der Erdoberfläche. Erstere sind Schlackenmassen, die aus feurigem Flusse erstarrt sind, so dass also, nachdem der Abkühlungsakt aussen vollzogen war, eine zusammenhängende, aus glasartigen Materien zusammengesetzte Rinde das noch glühende Innere vollständig abschloss. Durch Spaltenbildung ist ein grosser Teil des ursprünglich nur in Dampfform vorhanden gewesenen Wassers in die Höhlungen der Rinde gelangt; die Abwechselung von Meer und Festland war die nächste Folge des Absorptionsprozesses, der noch fortschreitend gedacht wird. Dieser Zustand kann sich einmal wieder ändern, wenn das Zentralfeuer wieder nach aussen durchbricht [15]: „Sane plerisque creditum, et a sacris quoque scriptoribus insinuatum est, conditos in abdito telluris ignis thesauros aliquando iterum erupturos“.

Die beiden grossen Philosophen, deren erdgeschichtliches Glaubensbekenntnis uns soeben bekannt geworden ist, leiten die geologische Schule des Plutonismus ein, so genannt, weil den Kräften der Unterwelt die wichtigste Rolle bei der Bildung der Erde, wie sie sich uns heute darstellt, zugewiesen ist. Von Anfang an — man kann ungezwungen die Gegensätzlichkeit der Auffassung ungleich höher hinauf in der Geschichte verfolgen — treten den Plutonisten die Neptunisten gegenüber, welche in der geräuschloseren, stetig wirkenden Umbildungsthätigkeit des Wassers den obersten geomorphologischen Faktor erkennen. Wie wir jetzt wissen, hat der Neptunismus in seiner modernen Form seinen eigentlichen Begründer in dem Dänen Stensen (latinisiert Steno) anzuerkennen.

Erst durch Élie de Beaumont (s. o.) ist man auf diese lange verkannte Persönlichkeit gehörig aufmerksam geworden; die einschlägigen Notizen hat K. Vogt [16] in deutscher Uebersetzung wiedergegeben. Nächstdem ist auf Plenkers Spezialstudie [17] über Steno hinzuweisen, welch letzterem auch Daubrée [18] hohes Lob ob seiner originellen Denkart spendet. Die kleine Schrift Stenos [19] begründet ebensowohl die Krystallographie, wie auch die Stratigraphie oder Lehre von den Erdschichten (stratum, Schicht). Dieselben, charakterisiert durch parallele Grenzflächen, sind Niederschläge aus dem Wasser, und je nach ihrer Zusammensetzung kann man ihnen ansehen, ob sie aus salzigem oder süssem Wasser im Laufe ungeheurer Zeiträume sich abgeschieden haben. Stets dann, wenn die Anordnung der Schichten nicht die natürliche ist, wenn sie nicht so wie die Blätter eines Buches aufeinanderliegen, muss auf nachherige Einwirkung äusserer Kräfte geschlossen werden [20]. Steno ist jedoch nicht so einseitig, dass er alle Bildungen in dasselbe Schema hineinpressen möchte, sondern er lässt neben den Schichtgebirgen auch die durch subterrane Kräfte gebildeten Gebirge zu. Durch diese Erkenntnis hat sich Steno entschieden über seine beiden Zeitgenossen erhoben, und als induktiver Forscher nimmt er in der Entwickelung der Geogonie nicht bloss zeitlich eine der ersten Stellen ein.

Man kann sagen, dass der Streit zwischen Vulkanisten — oder Plutonisten — und Neptunisten von nun an mehr denn hundert Jahre lang nicht mehr abbricht; mit oft grosser Bitterkeit geführt, hat er immerhin zur Klärung der Meinungen nicht wenig beigetragen. Im ganzen wiegt die Neigung zum Neptunismus vor, aber freilich geht letzterer bei seinem Gegner, nicht zu seinem Vorteile, insofern in die Schule, als er aus dessen Arsenale die grossen Umwälzungen herübernimmt, welche mit einem Schlage das Antlitz der Erde von Grund aus verändern müssen. Grossenteils trägt daran die Schuld die auch für die Systeme von Descartes und Leibniz teilweise massgebende Tendenz, sich nicht in Widerspruch zum biblischen Sint-

flutberichte zu setzen. „Diluvialismus," sagt Zoeckler [21] zutreffend, „ist der Grundcharakter der schöpfungsgeschichtlichen Theorien unseres Zeitraumes." Uns kann es einzig darauf ankommen, einiger der wichtigsten Wortführer Erwähnung zu thun.

Die Engländer Burnet [22] und J. Woodward [23] gehören zu den entschiedenen Diluvialisten; um gewaltige Wasserwirkungen begreiflich zu machen, behilft sich ersterer mit einer gewaltsamen Verschiebung der Erdachse, welche ursprünglich mit der Ebene der Ekliptik einen rechten Winkel gebildet haben soll. Woodward setzt eine universelle Ueberflutung voraus; alle Gesteine, die es vorher gegeben hatte, wurden in diesem Riesenmeere völlig aufgelöst, und erst mit dem langsam fortschreitenden Rückgange der Gewässer traten die zunächst noch weichen, allmählich aber sich verfestigenden Schichten eines neuen Felsgerüstes der Erde zu Tage. Die Anzahl der Gegner Burnets — von Zoeckler [24] werden sie alle mit Namen angeführt — war eine sehr grosse, zumal auch in Deutschland, wie die Gegenschriften von Feuerlein [25] und Lesser [26] beweisen, während Woodwards gemässigtere Anschauungen allseitigeren Beifall fanden, weil die gewaltsamen Zuckungen, mit denen Burnet so freigebig ist, in dem Systeme seines britischen Landsmannes durch geräuschloseres Walten der Natur in langen Fristen ersetzt worden waren. Zumal Ray [27] wusste, indem er auch die plutonischen Kräfte in ihr von Woodward etwas verkanntes Recht wieder einsetzte [28], für eine wesentlich neptunistische Auffassung der Erdbildung geschickt Stimmung zu machen. Wie Ray, so vertrat viel später Pallas [29] einen ähnlich vermittelnden Standpunkt, und nicht minder gilt dies für die beiden Silberschlag. Das Werk [30] des jüngeren Bruders dieses Namens kommt weniger in Betracht, aber die „Geogonie" des älteren [31], wohl auch das erste Werk, welches diese uns jetzt so geläufige Bezeichnung in die Wissenschaft einführte, ist trotz mancher Phantastereien eine beachtenswerte litterarische Erscheinung. Seine wesentlich aus umfassender Kenntnis des Harzgebirges abgezogene Schlussfolgerung lautet [32]: „Es lassen sich weder die Eigenschaften, noch die Ortsumstände aus der Feuerhypothese, und ebensowenig aus der Wasserhypothese, sondern allein aus einem Durchbruche einer elastischen unterirdischen Kraft herleiten." Der letzte ganz konsequente Neptunist der uns beschäftigenden Periode war Whitehurst [33], der kaum über Burnet hinausging, die vulkanischen Ausbrüche und Erdbeben aber als mitwirkende Ursachen bei der gegenwärtigen Verteilung von Wasser und Land ansprach. In freilich übertragenem Sinne kann den Neptunisten auch De Maillet [34] beigezählt werden, von dessen Desiccationslehre schon früher gehandelt wurde (S. 577), und der einen kontinuierlichen Prozess der Aufsaugung allen Wassers durch die Hohlräume des Erdkörpers postulierte.

Ein überzeugter Plutonist war dagegen, wie wir ebenfalls wissen (S. 78), A. L. Moro, dessen viel gelesenes Buch [35] alle Erscheinungen auf die durch unterirdische Hebungskräfte bewirkte Auftreibung einzelner Teile der Erdrinde zurückführte. Der Streit nahm, soweit eigentliche Fachmänner sich an ihm beteiligten, mehr und mehr konkrete Formen an; man suchte klarzustellen, ob gewisse zweifelhafte Gesteine aus wässeriger Lösung oder aus feurigem Flusse erstarrt seien. Unter ihnen stand als Forschungsobjekt der Basalt (I, S. 394) oben an. Die Phasen dieses geognostischen Kampfes hat uns Goethe, der selbst nicht bloss Zuschauer war, treffend geschildert [36]. „1760 oder 1763 stritten Desmarest und Monnet um die Ehre vermeintlicher Entdeckung, der Basalt sei ein vulkanisches Produkt. Der erste Gedanke gehört also den Franzosen; auch leisteten sie nicht wenig schon frühe genug für die Geschichte des Basaltes. 1771 und 1773 erschienen Raspe und Ferber als deutsche Vulkanisten, der letztere jedoch sehr mässig gesinnt. In demselben Decennium stimmten Charpentier, Reuss, Rössler gegen die Vulkanität, Baumer gleichfalls. 1771 erklärte sich Brünnich, 1777 Bergman, vom Auslande her, für die Neptunität, sowie später Kirwan. Die Gallier und Italiener im ganzen blieben dem Feuersystem getreu, so auch jetzt." Wie treu Goethe selbst den neptunistischen Anschauungen anhing, wie er in wissenschaftlicher Erörterung und in Briefen, im „Faust" und in den „Xenien" die Plutonisten als Vertreter unliebenswürdiger Poltergeister befehdete, hat Hederich quellenmässig dargethan [37]; selbst als ein Besuch des Kammerberges (I, S. 397) ihn vorübergehend von der relativen Berechtigung vulkanistischer Doktrinen überzeugt zu haben schien, erlitt er einen vollständigen Rückfall und verstand sich dazu [38], unter Verwerfung der an Ort

und Stelle gewonnenen Einsichten die bemerkenswerten Erscheinungen, welche er an jenem ausgebrannten Feuerberge selbst konstatiert hatte, als „pseudovulkanisch“ zu erklären. Von den erwähnten Forschern hat wohl am meisten Ferber zum Durchdringen der plutonistischen Lehre beigetragen; seine italienische Reisebeschreibung [39] musste durch ihre naturwahren Berichte überzeugend wirken, zumal da sie durch einen mit dem Wesen erloschener und aktiver Vulkane besonders genau vertrauten Gelehrten, P. F. v. Dietrich (vgl. I, S. 398), ins Französische übertragen und kommentiert wurde. Hier in Frankreich war durch Desmarest, dessen Goethe gedenkt, und dessen neuerdings auch Geikie ehrend erwähnt [40], die Unmöglichkeit allseitig zur Anerkennung gebracht worden, dass alle Gesteine, einerlei ob geschichtet oder massig, durch Abscheidung aus Wasser sollten erklärt werden können.

Neben den Plutonisten und Neptunisten nehmen jene Theoretiker einen Sonderstandpunkt ein, welche die Oberflächengestaltung der Erde teilweise mit extratellurischen Kräften in Zusammenhang brachten. Besonders Kometen waren als Helfer in der Not sehr beliebt; thatsächlich kann man ja auch durch Appell an solche, jedweder Berechnung und Kontrolle sich entziehende Kraftleistungen alles, was man will, bequem erklären. Der erste unter den Kometomanen, wie Zoeckler [41] die Anhänger dieser geogonischen Schule nennt, war der englische Mathematiker Whiston [42]; ihm folgte der Deutsche D. Clüver [43], und später noch glaubte Heyn [44] die Versöhnung menschlicher Erkenntnis mit biblischen Aussagen lediglich durch seine „heilige Kometologie“ erzielen zu können. In gewissem Sinne kann auch Buffon, dessen kosmographische Spekulationen schon früher (I, S. 45) zur Sprache gekommen sind, den Kometomanen, doch nur bedingt zugerechnet werden, insofern er von Anfang an die Lostrennung der Planeten vom Sonnenkörper den Kometen überträgt. Dann aber genügen rein terrestrische Agentien, die Aussenseite der Erde umzugestalten; sein berühmtes System [45], welches v. Zittel „ein phantastisches, aber höchst anziehendes Gemälde“ nennt, operierte mit dem richtigen Grundgedanken der geologischen Evolution, der Herausbildung neuer Zustände aus vorher dagewesenen im Verlaufe langer Zeiträume. Ganz spezifisch ist ja dieser Gedanke bei Buffon nicht, aber keiner vor ihm hatte demselben mit der Bestimmtheit Ausdruck verliehen, die dem grossen Meister des Stiles und der Darstellungskunst eigen war.

Gegen Ende des XVII. Jahrhunderts war die Menge der empirisch angesammelten Forschungsthatsachen ebenso wie die der Hypothesen und Theorien so gewaltig angeschwollen, dass eine Sichtung, eine systematische Ordnung als gebieterische Notwendigkeit empfunden wurde. Es fehlte nicht an Männern, welche die relativen Vorteile der einen oder anderen Erklärungsweise unparteiisch gegen einander abwogen, etwa so, wie dies Reyer [46] neuerdings gethan hat, aber gerade die hervorragenden Geister hielten sich von Einseitigkeit nicht ferne. Das heroische Zeitalter der Geologie — so hat v. Zittel [47] das Intervall von 1790 bis 1820 bezeichnet — ist durch schroffe Betonung einseitiger, ja sogar extremer Standpunkte charakterisiert, allein es scheint, dass die Entwickelung erst durch diese Phase hindurchgegangen sein musste, ehe die Vermittelungsgeologie des XIX. Jahrhunderts, welche viele Härten gemildert, viele Spitzen abgebrochen hat, ihr Ausgleichswerk zu beginnen im stande war.

§. 4. **Werner und Hutton.** In den beiden Männern, deren Namen diesem Paragraphen vorgesetzt sind, spitzt sich die alte Gegensätzlichkeit noch einmal in ihrer vollen Schärfe zu, aber es sind auch die Methoden, deren jeder von beiden sich zum Beweise der Richtigkeit seiner Auffassung bedient, wesentlich vervollkommnet worden. Die Epoche gehört in einer Beziehung noch ganz der soeben besprochenen Vergangenheit an; denn die Neigung, allen Metamorphosen innerhalb

der Erdrinde und an der Erdoberfläche einen gewaltsamen Charakter zuzuschreiben, ist noch vielfach vorhanden, aber auf der anderen Seite schlingt sich doch schon manches geistige Band hinüber zur Folgezeit, deren Vertreter der stille und geräuschlos, aber stetig waltenden Aktion der Naturkräfte das Wort redeten.

A. J. Werner hat als Lehrer der Mineralogie, Geologie und theoretischen Bergbaukunde an der neuen Bergakademie zu Freiberg, der ersten Lehranstalt dieser Art, eine ganz ungeheuer einflussreiche Rolle gespielt. Dem von ihm geschaffenen und mit Vorliebe gelehrten Wissenszweige hatte er den Namen Oryktognosie (ὄρυξις, Graben oder Bohren) beigelegt, und ebenso durch seine grundlegenden Schriften [48], wie durch seine unmittelbare didaktische Wirksamkeit breitete er seine Ansichten, die freilich (I, S. 420) nur allzu sehr auf die regionalen Verhältnisse des sächsischen Erzgebirges zugeschnitten waren, mit seltenem Erfolge in weitesten Kreisen aus. Aus seinen handschriftlich erhaltenen Vorlesungen scheint hervorzugehen, dass die Namengebung von Werner zwei anonymen Büchern [49] aus der zweiten Hälfte des XVIII. Jahrhunderts entnommen war; ihm selbst zerfiel, wiederum den Vorlesungen zufolge, Mineralogie in drei selbständige Bestandteile, nämlich in Oryktognosie, mineralogische Geographie und mineralogische Chemie. Am sichersten wird man gehen, wenn man Werners Lieblingsdisziplin als eine — damals wohl noch angängige — Vereinigung von Stratigraphie (S. 662) und Petrographie (I, S. 36) definiert.

Sämtliche Gesteinsarten, ohne Ausnahme, sollten durch Absatz aus Wasser entstanden sein; auf vulkanisch-plutonischem Wege (I, S. 24) konnte nach Werner ein Gestein nicht entstehen, sondern bloss metamorphosiert werden, weil (I, S. 419) die Vulkane mit oberflächlichen Erdbränden identisch sein sollten. Aus der ungeheuren Wassermasse, in welche sich der ursprüngliche Gasball verwandelt hatte, und innerhalb deren die Verfestigung radial gegen aussen zunehmend gedacht ward, hatten sich zuerst die Urgebirgsarten (Granit, Gneis, Glimmer- und Thonschiefer) abgeschieden; als dann der Sedimentationsprozess seinen Fortgang nahm, bildeten sich die Uebergangsgebirge. Nachdem auch diese Bildung vollzogen war, trat eine Katastrophe oder eine Folge von Katastrophen ein, welche einen grossen Teil der Gebirge primärer und sekundärer Formation teilweise zerstörte, und aus den Trümmern derselben bildeten sich, natürlich unter stetiger Mitwirkung des Wassers, die Flötzgebirge. Jede geschichtete, wesentlich gleichartige Gesteinsmasse heisst in der Bergmannsprache ein Flötz (Erdflötz, Kohlenflötz u. s. w.). Diese Grundidee Werners, den ganzen Schichtenbau der Erdrinde in dem Alter nach verschiedene Stockwerke zu zerlegen, hat sich als vollberechtigt erhalten, wie auch seine Methodik scharfer Kennzeichnung der Mineralien durch unveränderliche Merkmale ihn überdauerte. Indem wir auf Hasses Schrift [50] über Werner und sein wissenschaftliches Verdienst verweisen, stellen wir als springenden Punkt in seiner historischen Stellung den fest: Die neptunistische Erdbildungslehre wurde durch ihn mit solcher Schroffheit und Selbständigkeit durchgeführt, dass ein Hinausgehen über ihn in der Folgezeit unthunlich wurde.

Gleichzeitig hatte aber auch die plutonistische Doktrin neues Leben erhalten. Zwar Delucs System konnte, obwohl es durch die Beseitigung der Erdrevolutionen und die Betonung des ungeheuren Effekts stetiger Arbeit der Natur einen unleugbaren Vorzug in sich trug, nicht den Anklang finden, welcher dem des grossen Praktikers Werner sogleich zu teil geworden war. Dagegen hatten Dolomieu und Breislak durch geologische Versuche, die damals etwas ganz Neues waren und eine bisher verschlossene Perspektive der Naturforschung zu eröffnen schienen, manche der landläufigen Vorhalte entkräftet, welche zum Rüstzeuge der Neptunisten gehörten, und in gleichem Sinne war der geniale Schotte James Hutton vorgegangen, dem seine Landsleute Playfair und J. Hall ihre Unterstützung liehen. Das Kapitel, welches Geikie diesem Trifolium und der durch dasselbe inaugurierten grossen

Neuerung („Birth of Experimental Geology“) widmet [51], gibt jedem wünschenswerten Aufschluss über die damals vollzogene Reform.

Gegen Delucs Theorie wurde eingewandt, dass sie allzuwenig die wirklichen Verhältnisse berücksichtige und sich mehr als gut von physikalischen Argumenten leiten lasse. Zum Beweise dafür geben wir einen Teil der gewiss kompetenten gutachtlichen Aeusserung wieder, welche B. Studer gethan und R. Wolf [52] uns mitgeteilt hat. Es wird da gesagt: „Deluc hat vieles über Geologie geschrieben, aber wenig und nicht anhaltend beobachtet. Er war in erster Linie Physiker, und seine Geologie war, in älterem Stil gehalten, erklärend und nicht naturhistorisch beschreibend, vergleichend, zusammenfassend.“ Dieser letzteren Anforderung genügte in hohem Maſse Dolomieu, der mit Hutton zusammen die thätigen Vulkangebiete Italiens besuchte [53]. Durch seine Prüfung der Basaltfrage [54], welche er in vulkanistischem Sinne entschied, und durch seinen Nachweis [55], dass die später nach ihm Dolomit zubenannte Abart des Kalksteines sich von diesem selbst durch stärkeren Zusatz von Bittererde unterscheide, hatte Dolomieu sich einen geachteten Namen unter den Gesteinskundigen erworben. Wie Dolomieu, so hatte etwas später auch Breislak durch sein geologisches Handbuch [56] einer richtigeren Wertschätzung der vulkanischen Aktion den Weg gebahnt, und insbesondere machte er eine der häufigst gehörten Einwendungen der Neptunisten durch den Nachweis [57] zu nichte, dass auch im Glutflusse Flüssigkeitsreste sich erhalten können, wie dies z. B. beim Basalt, resp. bei Mineralien, die mit feurigflüssigem Basaltmagma in Berührung waren, des öfteren wahrgenommen worden ist.

Huttons Erdtheorie [58] brachte in den alten Streit der Meinungen dadurch ein neues Ferment hinein, dass das Gefüge der Gesteine zum Kriterium der Bildungsart erhoben wurde. War dasselbe ein krystallinisches, so war die magmatische, war es ein amorphes (in geometrischem Sinne gestaltloses), so war die wässerig-sedimentäre Entstehung sichergestellt. Aber auch der Umstand, dass beim Erstarren einer Lava Zeit und Ort von Wichtigkeit sind, ist von Hutton berücksichtigt worden; langsames Erkalten im Inneren der Erde bedingt granitische, schnelle Abkühlung an der Luft bedingt basaltische Struktur (I, S. 394). Die Erläuterungen Playfairs [59] dienten wesentlich dazu, den neuen Lehren zum Durchbruche zu verhelfen. Nur in einem allerdings wichtigen Punkte wich Hutton von den später erworbenen Einsichten ab; er nahm an, dass es unterirdischer Hitze zuzuschreiben sei, wenn nach und nach aus einem weichen Niederschlage harter Stein werde [60]. Die Bekräftigung, welche dieser Auffassung des molekularen Konsolidationsprozesses gewisse Versuche von Hall [61] liehen, wurde in ihrer Bedeutung überschätzt. Es ist ja richtig, dass es ihm gelang, durch Einwirkung erhitzten Salzes auf gewöhnlichen Sand sandsteinartige Gebilde zu erhalten, allein als Regel durfte dies nicht betrachtet werden. In §. 7 soll die Folge der Vorgänge, als deren Gesamtheit der Sedimentationsprozess erscheint, näher erörtert werden.

Immerhin können wir auf Hutton mit vollem Rechte die erste tiefere Einsicht in die Verhältnisse zurückführen, unter denen sich die Bildung der Erdrinde vollzog. „Huttons Ansicht über die Sedimentbildung ist nunmehr,“ so äussert sich Penck [62], „die alleinherrschende geworden.“ Eigentlich hätte der plutonisch-neptunische Gegensatz damit schon einen Ausgleich finden sollen; weder die eine noch die andere Alternative war die einzig berechtigte, sondern es konnte ein voll befriedigender Friede unter der Formel geschlossen werden: Bei der Bildung der Materialien, aus denen die Erdkruste sich aufbaut, ist sowohl das Wasser als auch das Feuer beteiligt gewesen; Schichtung weist auf Niederschlag aus dem Wasser, körnige Struktur auf Erstarrung aus magmatischem Schmelzflusse hin.

§. 5. **Die Geogonie im XIX. Jahrhundert.** War Huttons Grundvorstellung richtig, so war auch der geologischen Katastrophen-

lehre der Boden entzogen, welche damals noch viele Anhänger besass. Doch räumte dieselbe das Feld nicht nur nicht ohne Kampf, sondern sie errang sogar durch Cuvier noch einmal vorübergehend die Oberherrschaft. Auch L. v. Buch, der anerkannte Meister der geologischen Forschung in der ersten Hälfte des XIX. Jahrhunderts, stand dem Prinzipe, dass die Natur von Zeit zu Zeit in gewaltthätigen Umwälzungen sich gefalle, gar nicht ferne.

Zunächst, so lange Werners Name in vollem Glanze strahlte, behauptete ja der reine, unverfälschte Neptunismus noch das Feld. Eine noch jetzt beachtenswerte Uebersicht über die gesamte Erdgeschichte gab der geniale Lamarck [63]; Lang bemerkt dazu treffend [64]: „Vergleichen wir Lamarcks Hydrogeologie mit den zu seiner Zeit in Mode stehenden erdgeschichtlichen Theorien, so hat sie neben vielen anderen besseren Gedanken hauptsächlich das grosse Verdienst, zur Erklärung bloss heute noch wirkende Kräfte und Ursachen herangezogen und auf das Falsche der Lehre von den allgemeinen und plötzlichen Katastrophen hingewiesen zu haben.“ Leider wirkte Lamarcks gemässigte Auffassung auch nicht annähernd so kräftig nach, wie diejenige Cuviers, dessen kataklysmatische Theorie [65] dem Geiste eines an die heftigsten geistigen und staatlichen Umwälzungen gewöhnten Zeitalters weit besser entsprach. Das hohe und berechtigte Ansehen, welches sich der grosse Zoologe durch seine Rekonstruktion vorweltlicher Tiere erworben, verschaffte auch seiner Geogonie rasch und bereitwillig Eingang in allen Kreisen. Da Cuviers Einfluss doch fünfzig Jahre lang die Gemüter beherrschte, so wollen wir, nach Dannemann [66], einige prägnante Aussprüche des genannten Werkes wörtlich anführen. „Es fand in der organischen Welt eine Folge von Veränderungen statt, welche durch einen Wechsel in der Beschaffenheit des Mediums veranlasst wurden oder einer solchen wenigstens parallel gingen...“ „Furchtbare Ereignisse haben also oft in die Lebewelt unseres Planeten eingegriffen. Zahllose Geschöpfe wurden das Opfer dieser Katastrophen. Die einen wurden als Bewohner des Festlandes von den Fluten verschlungen; die anderen, welche den Schoss des Meeres bewohnten, wurden aufs Trockene gesetzt gleichzeitig mit dem Meeresboden, der sich plötzlich erhob ...“ Von den vielen Naturforschern, welche in Cuviers Behauptungen den Schlüssel zu so manchem Rätsel der Stratigraphie und Versteinerungskunde erkannten, seien insonderheit Buckland [67] und Jameson [68] genannt; dass diese Lehre von der periodisch wiederkehrenden Meeresumsetzung auch eifrig von denen verwertet wurde, denen eine naturwissenschaftliche Begründung biblischer Schöpfungs- und Sintflutberichte am Herzen lag, ist von Zoeckler [69] gezeigt worden.

Als überzeugte und prinzipientreue Neptunisten waren Werners beide grösste Schüler, Leopold v. Buch und Alexander v. Humboldt, in die Welt hinausgezogen, welche ihnen freilich sehr bald Bilder zeigen sollte, die mit dem, was Freibergs Umgebungen ausschliesslich dargeboten hatten, nicht recht stimmen wollten. Trotzdem wehrten sie sich förmlich gegen diese neuen Eindrücke, aber zuletzt sahen sie sich durch ihr wissenschaftliches Gewissen doch ins feindliche Lager hinübergeführt, dem sie von nun an um so rückhaltslosere Treue bewahrten. Wir lesen bei v. Zittel [70], dass v. Buch selbst noch im Angesichte des Vesuvs an der orthodoxen Lehre festhielt und erst einerseits durch die vielgestaltigen Vulkanphänomene des französischen Zentralplateaus, andererseits durch Montlosiers Studien [71] über die Auvergne (I, S. 397) langsam zu einer anderen Auffassung gebracht wurde. Um so entschiedener wurde er später, und ein Gleiches gilt für seinen Genossen, dessen Wandelungen Ewald uns in ihrer notwendigen Folge geschildert hat [72]. Da die Thätigkeit der beiden Dioskuren bereits bei anderer Gelegenheit (Abt. III, Kap. III, §. 16) im Zusammenhang behandelt werden musste, so kann an diesem Orte rascher über diese hochwichtige Phase in der Ausbildung der modernen Geologie hinweggegangen werden.

Es versteht sich von selbst, dass zumal in Deutschland Werners Ansehen noch manche Fachmänner bei seiner Fahne festhielt, unter denen wir K. v. Raumer, der wesentlich noch von der sedimentären Natur des Granits überzeugt war [73], J. N. Fuchs, der seine Anschauungen [74] in interessanter Polemik gegen Berzelius zu vertheidigen suchte, Schafhäutl [75] und vor allem G. Bischof [76] nennen wollen. Das mit Recht berühmte Werk des Bonner Geologen kann als konsequent-einheitliche Zusammenfassung alles geogonischen Wissens auch von den-

jenigen mit Vorteil benützt werden, welche persönlich auf einem anderen Standpunkte stehen; dass Bischof auch vor Paradoxien nicht zurückscheute, wenn es die Stellungnahme gegen die Nebularhypothese, den Ausgangspunkt der plutonistischen Richtung, galt, haben wir schon (I, S. 158) erfahren. An Bischof knüpfte wesentlich die durch extreme Behauptungen ausgezeichnete jung-neptunistische Schule eines Mohr [77], Volger [78], Brauns [79] an; auch das oben (S. 662) citierte Lehrbuch von K. Vogt muss hier einbezogen werden. In dem Kapitel von der inneren Erdwärme (I, S. 341) wurde gezeigt, in welchen Widerspruch mit Erfahrungsthatsachen die Uebertreibung des neptunistischen Dogmas hineinführte.

Die grosse Mehrzahl aller Geologen und Geographen huldigt in unseren Tagen der schon oben angedeuteten, in den Grundzügen bereits bei Hutton zu findenden Ansicht, dass mit einer einzigen, auf ein bestimmtes Prinzip zugespitzten Theorie, möge sie noch so geistvoll ausgedacht sein, der ungeheuren Mannigfaltigkeit der natürlichen Geschehnisse nicht beizukommen ist. Die geologische Katastrophenlehre gilt mit vollem Rechte als überlebt und wird kaum je mehr wieder zu wirklichem Ansehen gelangen können; möglicherweise wird jedoch auch der geologische Quietismus, wie ihn — auf manche ältere Vorläufer hin, deren das morphologische Schlusskapitel zu gedenken haben wird — Ch. Lyell systematisch begründet hat, von einzelnen allzu schroff gefasst. Gewiss unterliegt es keinem Zweifel, dass die unausgesetzt in gleichem Sinne wirksame Aktion sowohl der destruktiven wie auch der konstruktiven Naturkräfte die grössten Leistungen zu vollbringen vermag, allein ebenso gemahnen uns historische Ereignisse — der Krakatau-Ausbruch (I, S. 412); die mesopotamische Flut (I, S. 492) — daran, dass die Natur sich gelegentlich zu Kraftanstrengungen kataklysmatischen Charakters aufzuraffen im stande ist.

Ein drastisches Beispiel der Tendenz, alle Thatsachen in das Prokrustesbett einer vorgefassten Lehrmeinung zu zwängen, liefert Élie de Beaumonts Polyedertheorie [80]; alle Hauptgebirge der Erde sollten einem „réseau pentagonal" sich einfügen, d. h. mit den Kanten eines der Erdkugel einbeschriebenen Dodekaeders übereinstimmen. Die grossen Sprünge der Rinde, durch welche die plutonischen Massen austraten, um sodann zu Gebirgsketten zu erstarren, sollten polyedrisch präformiert sein. Man kann Goethes Widerwillen [81] gegen diese Ueberspannung geometrischer Methodik lebhaft nachfühlen und muss Pilar [82] recht geben, wenn er solche Vergewaltigung der Natur als Hindernis für eine nicht formalistisch, sondern genetisch vorgehende Geologie bezeichnet. Dass gleichwohl auch noch in viel späterer Zeit das System Élie de Beaumonts sogar zur Grundlage einer verbesserten Geo- und Kartographie erhoben werden wollte, haben Chancourtois' Arbeiten [83] gezeigt, und erst seit dem 1874 erfolgten Tode des freilich auch um seine Wissenschaft hochverdienten Urhebers begann seine Lehre an Zugkraft zu verlieren.

Die Bedeutung Lyells, der durch sein — in einer Fülle von Neuauflagen auch immer neues Leben verbreitendes — Hauptwerk [84] die Wissenschaft ausserordentlich befruchtete, ist von Penck [85] quellenmässig dargelegt worden. Geikie spricht [86] von Lyell als einem der Klassiker der Geologie. Selbst wenn, wie vielleicht nicht geleugnet werden kann, die Scheu der Lyellschen Richtung vor abrupten Durchbrechungen des ruhigen Entwickelungsganges eine allzu weitgehende sein sollte, wird der Wert dieser leidenschaftslosen, die kleinsten wie die grössten Vorkommnisse mit gleicher Hingebung berücksichtigenden Analyse nicht geschmälert. Wir können nur einen schon früher ausgesprochenen Satz [87] wörtlich in diese neuere Darstellung des Werdeprozesses der Erdbildungslehre herübernehmen: Auf der von Lyell vorgezeichneten Grundlage hat sich nicht eigentlich eine Versöhnung, wohl aber eine Durchdringung und gegenseitige Assimilierung der sich früher anscheinend unvereinbar gegenüberstehenden Anschauungen, der plutonistischen und der neptunistischen,

vollzogen. Die geologische Dogmatik muss mehr und mehr vorurteilsloser Exegese des stets aufgeschlagenen Buches der Natur das Feld räumen.

§. 6. **Allgemeine Prinzipien der historischen Geologie.** Die historische Geologie, welche mit der Stratigraphie (S. 662) als wesentlich identisch betrachtet werden kann, hat die Aufgabe, die Reihenfolge festzustellen, in welcher an gegebener Stelle der Aufbau der die Erdrinde bildenden Gesteinslagen geschah. Da, wo niemals eine Störung den gleichmässigen Fortschritt unterbrach, macht sich die Sache leicht; was jünger ist, liegt vertikal über dem Aelteren. In der Mehrzahl der Fälle ist die Ermittelung eine ungleich schwierigere, und es bedarf des Zusammenwirkens verschiedener Disziplinen, um die Aufgabe zu lösen. Vor allem muss man wissen, was für gesteinsbildende Mineralien es gibt; zum zweiten, wie sich aus diesen als Urbestandteilen felsbildende Gesteine zusammensetzen. Schliesslich ist die gesamte Erdrinde in geologische Formationen zu zerlegen und im Einzelfalle zu bestimmen, welcher Formation eine beliebige dem Forscher entgegentretende Schicht thatsächlich angehört.

Tiefere Belehrung über die Gesamtheit der hier in Betracht kommenden Probleme zu geben, ist nicht Sache der Geophysik, vielmehr ist dieselbe darauf angewiesen, bei den benachbarten Wissenszweigen Anleihen für ihre Zwecke zu machen. Es wurde in der Einleitung (I, S. 36) darauf aufmerksam gemacht, dass von den drei Hauptbestandteilen der Geologie, der Petrographie, Paläontologie und dynamischen Geologie nur die letztere zugleich Arbeitsgebiet der physikalischen Erdkunde ist, dass aber ein gewisses Mass von Vorkenntnissen in den beiden erstgenannten Disziplinen auch für den Geographen als unerlässlich bezeichnet werden muss.

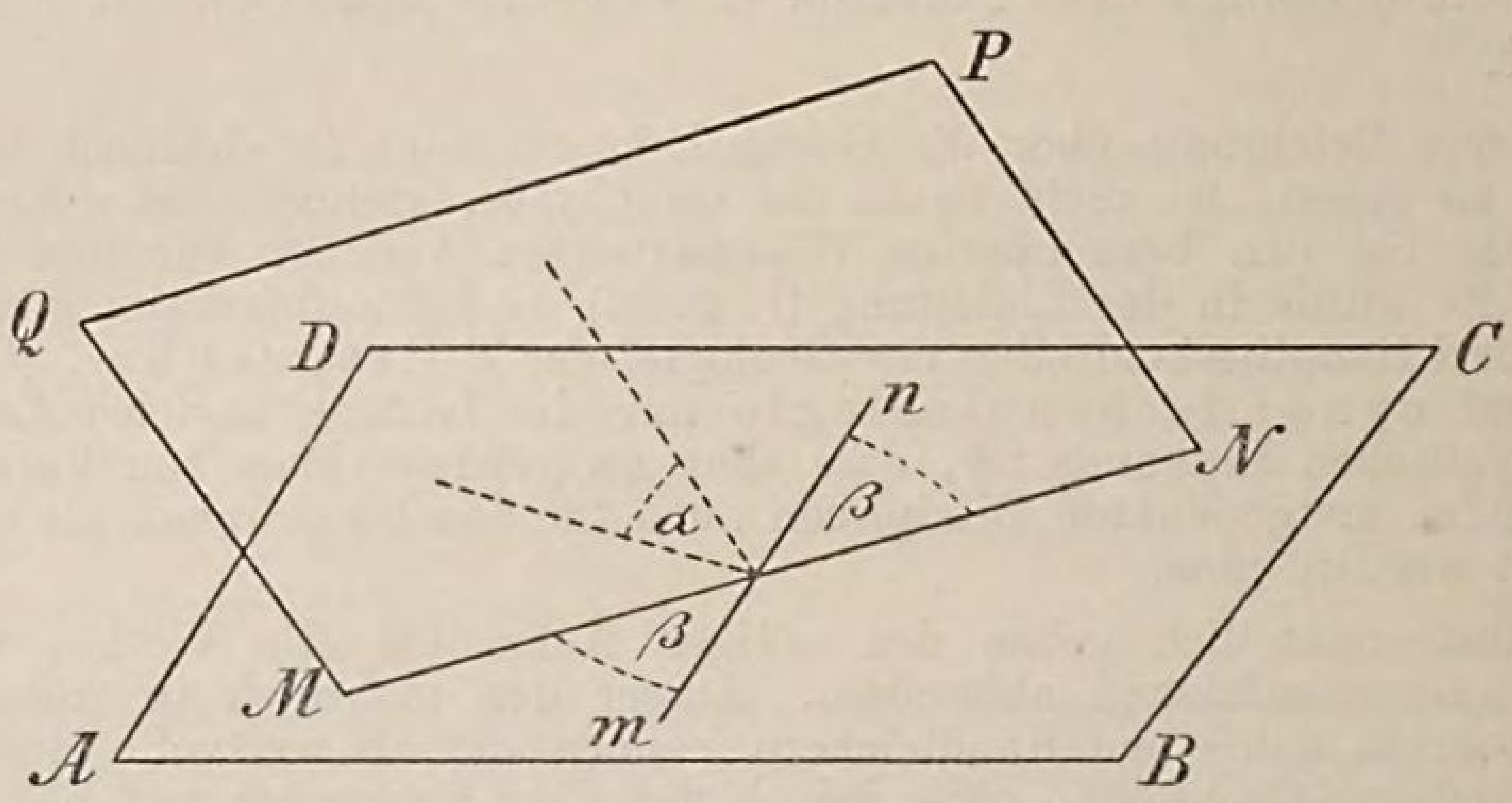
Selbstverständlich geben den nötigen Aufschluss alle Werke, welche die Geologie zusammenfassend abhandeln. Ausser den mehrfach in früheren Abteilungen citierten Lehr- und Handbüchern nennen wir als wertvolle Handweiser in chronologischer Reihenfolge, ohne jedoch dabei im geringsten auf Vollständigkeit zu sehen, die grösseren und kleineren Werke von Kner [88], Naumann [89], Dana [90], C. Credner [91], F. Pfaff [92], Henrich [93], De Lapparent [94], v. Gümbel [95], v. Fritsch [96], J. Roth [97], E. Kayser [98] und Prestwich [99]. Als ein vorzüglicher Lehrbegriff ist die „Erdgeschichte“ von Neumayr-Uhlig [100] zu nennen, während für einen elementaren Unterricht die kleineren Leitfäden von Geikie [101], H. Haas [102], und E. Fraas [103] empfohlen sein mögen, insbesondere auch für diejenigen jungen Geographen, welche, wie es so häufig geschieht, von der historischen Seite her an ihr Fach herantreten.

Die Petrographie (I, S. 36) oder Lithologie hat sich als eine wesentlich mikroskopisch-chemische Wissenschaft (I, S. 388) von der Mineralogie, welche sich neuerdings mehr und mehr mit Krystallographie, der Lehre von der Geometrie der Mineralkörper, identifiziert, allgemach losgelöst und auf eigene Füsse gestellt. Als einer der ersten von denen, welche mit klarem Bewusstsein die physikalischen und chemischen Eigenschaften der Gesteine untersuchten, verdient der Schwede Wallerius [104] Erwähnung; übrigens hat Nies [105] gezeigt, dass die von der modernen Mineralprüfung angewandten Kriterien — geometrische Form, Spaltbarkeit, Härte, Strich, Farbe, Glanz, Durchsichtigkeit, Schwere, Geruch, fremdartige Einschlüsse u. s. w. — auch dem Altertum nicht unbekannt gewesen sind, obwohl es an systematischer Begriffsbestimmung selbstredend fehlte. Indem wir dieselbe Reserve wie oben beobachten, stellen wir die Autoren geschätzter lithologischer Elementarwerke hier zusammen: v. Cotta [106], Zirkel [107], O. Lang [108], Hussak [109], Kalkowsky [110] und Michel Lévy [111]. Für Massengesteine sind die Arbeiten von Rosenbusch [112] bahnbrechend, auf welche bereits die Lehre vom Vulkanismus (I, S. 388) gebührende Rücksicht zu nehmen hatte. Dem Anfänger wird ein Werkchen von Blaas [113] willkommen sein, und beim Aufsuchen von Gesteinen und Bestimmen von Gesteinsproben werden

sich v. Kobells Tabellen [114] immer wieder erproben, sowie eine Anleitung von C. Fuchs und R. Brauns (4. Aufl, Giessen 1898).

Alle Sedimentärgesteine haben als charakteristische Lagerungsform die Schichtung [115], und zwar bildet wiederum die Regel die Parallelstruktur. Die geometrischen Verhältnisse der Schichtanordnung sind leicht mit Hilfe des Kompasses festzustellen. Diagonal- und Kreuzschichtung sind Ausnahmen, die sich fast allein in Sandsteingebieten zeigen; lediglich dort findet man auch fossile Wellenfurchen (S. 626), die aber das Wesen der Schichtung kaum merklich beeinflussen. Wenn eine Fläche ungefähr lotrecht eine Sedimentbildung abscheidet, so treten an ersterer die Schichtenköpfe zu Tage; haben letztere dieselbe Mächtigkeit, welche der Schicht überhaupt eignet, so sagt man, die Schicht streicht aus, während andererseits auch eine Auskeilung der Schichten bemerkt werden kann. Nicht verwechselt darf mit der Schichtung die Schieferung werden

Fig. 136.



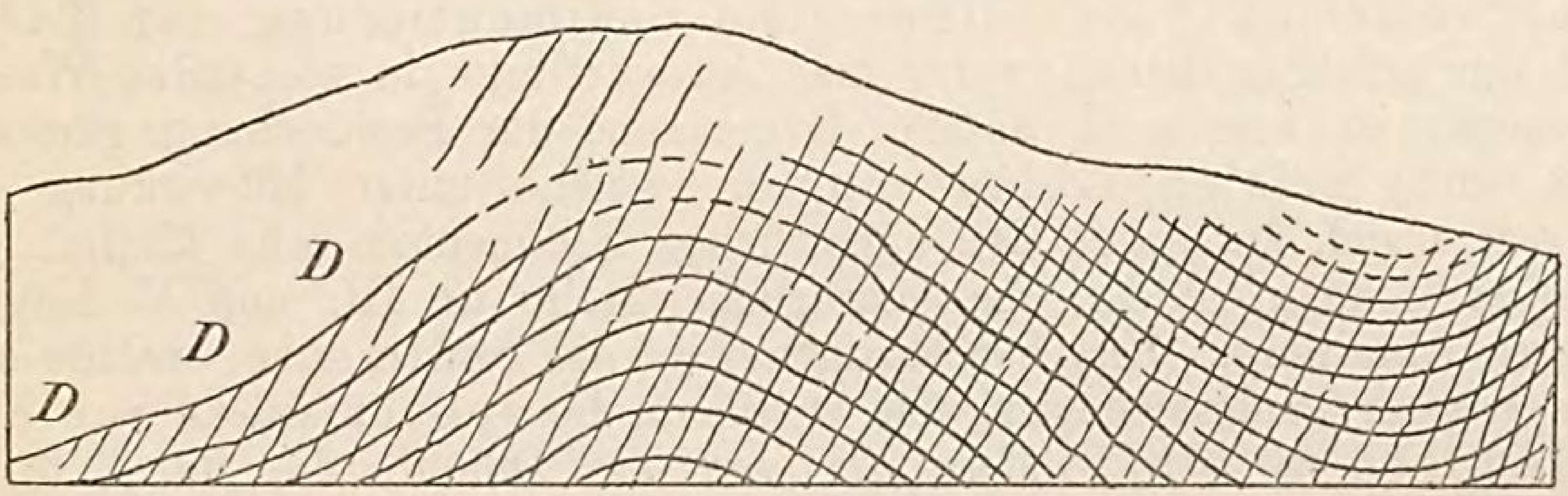
obwohl beide Strukturformen einander mitunter recht ähnlich werden können.

Die Grundlage für das Studium der Schichtverhältnisse hat die Markscheidekunst (Geometria subterranea) gelegt, deren Anfänge M. Schmidts historische Studie [116] auf den Alexandriner Heron (100 v. Chr.) zurückverfolgt. Als geometrische Disziplin erscheint dieselbe bei dem Montanisten Agricola [117] (I, S. 16) und bald nachher lehrte Reinhold [118] die Anwendung der Trigonometrie auf die Bestimmung der Schichtlagen. Den um die Mitte des XVIII. Jahrhunderts erreichten Standpunkt kennzeichnet das Lehrbuch v. Oppels [119], den modernen das grosse Handbuch v. Bauernfeinds [120], während den Bedürfnissen des Praktikers Brathuhn [121] am meisten entgegenkommen will. — Jede Ebene ist der Lage nach bestimmt durch zwei Stücke, und zwar erfolgt die Bestimmung der Ebene besonders einfach dadurch, dass man erstens den Winkel α misst, den (Fig. 136) die Ebene MNPQ mit der horizontalen Bezugsebene ABCD bildet, und indem man zweitens den Winkel β bestimmt, den die Schnittlinie MN beider Ebenen mit dem Meridiane mn einschliesst. Der Winkel α entspricht dem Fallen, der Winkel β dem Streichen der Schichtfläche. Benützt man den Grubenkompass, so muss man natürlich beachten, dass die Meridianlinie, welche den Anfangsschenkel des Streichungswinkels bildet, nicht die recht-, sondern die missweisende (I, S. 511) ist, so dass, um β für den astronomischen Meridian zu erhalten, der Betrag der magnetischen Deklination mit gehörigem Zeichen hinzugenommen werden muss. Den Fallwinkel α erhält der Reisende leicht durch das Klinometer (den Neigungsmesser) [122]; ein geteilter Kreis mit einem im Mittelpunkte angebrachten Senkel reicht dafür vollständig aus.

Die Schichtenanomalien, welche durch interne Gleichgewichtsstörungen der Erdrinde hervorgebracht wurden, und welche darin sich geltend machen, dass die ursprünglich in einfachster Lage angeordneten Schichten in der mannigfaltigsten Weise gebogen, geknickt, gebrochen, ihres Zusammenhanges beraubt erscheinen, sollen einstweilen noch nicht Gegenstand der Erörterung sein. Wir reservieren die bezüglichen Erklärungen dem V. Kapitel, wo auch zugleich die Vorgänge, durch welche die Schichtenstörungen bedingt waren, kausal gewürdigt werden können und sollen.

Unter Schieferung versteht man die Absonderung einer Gesteinsmasse in äusserst dünne Lagen, welche man Platten oder Tafeln nennt; die bekannten Dachschieferbrüche des Frankenwaldes (Lehesten) und des Glarner Gebirges (Elm) liefern die unmittelbar einleuchtenden Beispiele. Die echte Schieferung ist mithin von einer Schichtung sachlich nicht verschieden, indem nur eben den einzelnen Schichten eine sehr kleine Dicke zukommt. Von ihr weicht vollständig ab die falsche oder transversale Schieferung (Cleavage), indem deren Grenzflächen einen mehr oder weniger grossen Winkel mit den natürlichen Schichtflächen bilden. Ein von vulkanischem Diabas (I, S. 391) durchsetztes Stück Schiefergebirge aus Nassau (Fig. 137) lässt diesen Winkel der Schieferung mit den — in Falten gelegten — Schichten sehr deutlich hervortreten; die Zeichnung rührt von

Fig. 137.



Kayser [123] her. Auch die Transversalschieferung ist das Resultat eines tektonischen Prozesses und wird am bezeichneten Orte der Besprechung unterzogen werden.

Neben geschichteten und geschieferten Gesteinen kommen noch die Massengesteine in Betracht, welche wir seiner Zeit (I, S. 389) in vulkanische und plutonische geschieden haben. Auf sie besonders einzugehen, liegt keine Veranlassung mehr vor. Dagegen ist noch auf einige besondere Strukturverhältnisse hinzuweisen [124], welche gelegentlich dem Beobachter begegnen und unter Umständen auch bei der Art- und Altersbestimmung Dienste leisten können.

Des ferneren soll, da die krystallinischen Massengesteine uns erwähntermassen nicht mehr zu beschäftigen brauchen, eine gedrängte Uebersicht über die krystallinischen Schiefer und über die Sedimentgesteine im engeren Sinne eingeschaltet werden. Erstere zerfallen in die drei Hauptabteilungen Gneis (ursprünglich Gneus, unter diesem Namen nach v. Fritsch [125] zuerst bei Agricola und Kentmann [1565] vorkommend, durch Ferber (S. 663) und Werner (S. 664) in seiner petrographischen Eigenart erkannt), Glimmerschiefer und Phyllit (φύλλον, Blatt; die Absonderung des Gesteines in dünnen Blättern ist eine so ausgesprochene, dass man die einzelnen, glänzenden Tafeln leicht mit der Hand loslösen kann). Mit Glimmerschiefer sind nahe verwandt Chlorit-, Hornblende-, Talk- und Kalkglimmerschiefer. Was den Gneis anlangt, so wurde derselbe, nachdem festgestellt war, dass derselbe in seiner Zusammensetzung völlig mit dem Granit (I, S. 391) übereinstimme, lange von vielen als Eruptivgestein angesehen, allein seine schieferige oder sogar flaserige Struktur stand dem entgegen. Es war wesentlich v. Gümbel, der [126] die Umbildung

eines ursprünglichen Absatzgesteines in das, was wir heute Gneis nennen, als eine Folge der sogenannten Diagenese (διά, durch; γένεσις, Entstehung) begründete. Hören wir, wie Neumayr [127] diesen in die ältesten Perioden der Erdgeschichte zu verlegenden Prozess kennzeichnet. „Die diagenetische Theorie nimmt an, dass die krystallinen Schiefer wohl als mechanische Sedimente abgelagert wurden, aber unmittelbar danach unter Einwirkung von Verhältnissen, die nur dem Urmeere eigen waren, krystallinische Beschaffenheit annahmen. Hoher Atmosphärendruck, hohe Temperatur und ein erhöhtes Lösungsvermögen des Urmeeres sollen bewirkt haben, dass die vom Festlande zugeführten mechanischen Niederschläge und vielleicht auch die vulkanischen Tuffe jener uralten Zeiten bald in einen krystallinischen Zustand übergeführt wurden. Mit der allmählichen Abnahme der hohen Temperatur, des hohen Atmosphärendruckes und der gesteigerten Lösungsfähigkeit des Urmeeres wurden die Verhältnisse den heutigen ähnlicher und die Bedingungen für die krystalline Diagenese immer ungünstiger; der krystalline Charakter der Gesteine wurde endlich völlig verdrängt.“ Gneis kann als das Hauptmaterial der ursprünglichen Erstarrungskruste der Erde betrachtet werden.

§. 7. **Die Bildung der Sedimente.** Wir sind somit, von den in der Primordialzeit obwaltenden Verhältnissen ausgehend, zu der allgemeinen Frage geführt worden, wie überhaupt die Sedimentbildung sich vollzieht. Die vulkanische Sedimentierung der Tuffe, die nur erfolgen kann, wenn lose Auswürflinge in stehendes Wasser geraten, ist bereits (I, S. 386) Gegenstand der Besprechung gewesen. Die subglazialen Ablagerungen, welche unter Mitwirkung des Wassers sich äusserlich den eigentlichen Sedimenten sehr ähnlich gestalten können, finden ihre natürliche Stelle im III. und V. Kapitel dieser Abteilung. Uns beschäftigen hier die Sedimente, welche sich aus Wasser niederschlugen, und weiterhin die subaërischen Schichtbildungen (S. 619), indem nur von den Dünen, die im §. 6 des II. Kapitels der siebenten Abteilung erledigt wurden, nunmehr abgesehen werden kann.

Ueber die ersterwähnte Frage liegen ausgedehnte Untersuchungen von Durham [128], Ramsay [129], Brewer [130], Barus [131] und insbesondere von Thoulet [132] vor, welche Weule [133], zusammen mit eigenen Beobachtungen, zu einem Gesamtbilde vereinigte. Den dabei mitwirkenden molekularen Kraftbethätigungen hat Bliss [134] besondere Beachtung zugewendet. Sedimentbildung kann chemisch, sie kann mechanisch, sie kann endlich auch auf gemischtem Wege vor sich gehen. Für das Studium des erstgenannten Vorganges ist durch die schon (S. 667) citierten Werke von G. Bischof und J. Roth der Grund gelegt worden. Zur näheren Erörterung der mechanischen Seite des Prozesses regte insonderheit die Tiefseeforschung an; man musste sich z. B. fragen, aus welchem Grunde in verschiedenen Meeresteilen die sogenannte Küstenzone (S. 411) eine ganz ungleiche Breite besitzt; im Mittel nur etwa 250 m breit, wird sie an der brasilianischen Küste zu einem Streifen von fast dreifacher Breitenausdehnung. Da man erkannt hatte, dass fein verteilte Feststoffe nicht in jedem Wasser gleich schnell zu Boden sinken, so stellte man verschiedene Hypothesen zur Erklärung dieser Ungleichförmigkeit auf; man dachte an die Mitwirkung der Elektrizität, an ungleiche Affinität der Sinkstoffe gegenüber dem Wasser, an Verschiedenheiten in der Kohäsion, an die bei der Auflösung von Salzen gebundene Wärme, an den retardierenden Einfluss der Mineralsäuren und an manches andere. Barus und Thoulet (s. o.) brachten Festkörper im Zustande feinster Verteilung in hohe, graduierte Glasröhren, welche mit Wasser gefüllt und vertikal aufgestellt wurden, und nun stellte man fest, welches nach Umfluss bestimmter Zeiten der Grad der Trübung (Opaleszenz) geworden war. Bei manchen Suspensionen geht der Akt des Niederschlages sehr rasch vor sich; manche Lösungen dagegen blieben 6 Jahre und länger unberührt stehen, ohne dass völlige Klarheit eingetreten wäre. Wachsende Temperatur wirkte fördernd auf die Abscheidung der Sinkstoffe aus der Flüssigkeit; jede Temperaturschwankung beeinflusst die Opales-

zenz. Nach Brewer (s. o.) wiegt die chemische Verwandtschaft sehr entschieden vor, so dass verschiedene Schichten auch verschiedene Zusammensetzungen derselben Verbindungsreihe repräsentieren würden; im Gegensatze hiezu betont Barus den wichtigeren Einfluss rein mechanischer Umstände und stellt die Behauptung auf: Das Gesetz der Suspension wird durch die Dimensionen, Gestalt und Dichte der Partikeln bestimmt. Nur minimale, der Konstatierung durch die Sinne entzogene Teilchen sollen schwebend verbleiben können, während alle makroskopischen Körperchen schliesslich unten anlangen müssen. Demgemäss würde man sagen können: Eine bestimmte Schicht hat ausschliesslich Partikeln von gleicher Beschaffenheit in sich aufgenommen.

Das Augenmerk von Bliss (s. o.) war vornehmlich darauf gerichtet, den Teilprozess der die Niederschlagsbildung einleitenden Entstehung von Flocken zu analysieren. Er operierte zunächst mit in Wasser aufgelöstem Thon, zog aber auch andere Stoffe zur weiteren Begründung seiner Thesen bei. Ihm zufolge hängt die Entscheidung darüber, ob die Einzelkorpuskeln als solche erhalten bleiben, oder ob sie zu Flocken aneinander gerinnen, von der Konzentration der alkalinischen Lösung ab; höherer Grad derselben erleichtert die Flockenbildung. NaCl und verwandte Substanzen bewirken eine dichtere Aneinanderscharung der Körperchen, als sie in reinem Wasser stattfindet. Jedenfalls können diese molekulartheoretischen Studien das Hauptproblem nur fördern, denn da die Flockung der Einwirkung der Schwerkraft zu Hilfe arbeitet, so kann ihr Eintreten als ein besonders wichtiges Moment der Sedimentation angesehen werden.

Wir hatten bisher nur ruhendes Wasser im Auge. Bewegt sich das die Sinkstoffe in sich schliessende Wasser, so verändern sich natürlich alle Verhältnisse, und die damit in Verbindung stehenden Probleme der physikalischen Geographie erheischen eine gesonderte Betrachtung, die ihnen in Kap. IV und V zu Teil werden soll. Nicht unberührt wollen wir die Thatsache lassen, dass schon bei früherer Gelegenheit ganz analoge Untersuchungen angestellt werden mussten, nämlich darüber (S. 113), ob Staubkörner wirklich jahrelang in der Luft schweben bleiben können. Die Antwort fiel bejahend aus, in Uebereinstimmung mit Barus' Erfahrungen (s. o.) über die Zähigkeit, mit welcher eine wässerige Lösung in diesem Zustande verharrt.

Die Bedingungen der äolischen Sedimentierung hat v. Richthofen, auf Grund seiner in China erworbenen Einsichten, scharf gekennzeichnet [136]. Wie wir soeben feststellten, können feine Sand- und Staubteile (S. 19) lange in der Atmosphäre mitgeführt werden, selbst wenn diese in rascherer Bewegung sich befindet. Doch findet natürlich eine stetige Ausscheidung statt; „auf dem ganzen Wege des Windes wird der Staub über die Oberfläche verteilt." Was auf geneigte Hänge fällt, wird leicht wieder weggespült, zumal, wenn die Gegend regenreich ist. Manches fällt in Flüsse, Sümpfe, Binnenseen und Meer, aber ein sehr namhafter Bestandteil kommt auf ebene oder flachmuldige Flächen zu liegen und bleibt dann haften; am sichersten, wenn Vegetation vorhanden ist, welche die subaërische Schichtung ganz ebenso unterstützt, wie sie die Dünen festmachen hilft (S. 618). Auch Reste von Bauwerken wirken förderlich, und wenn man nicht selten findet, dass antike Ruinen unter tiefer Erddecke begraben liegen, so dass sie nur mühsam ausgegraben werden können, so darf man in erster Linie, vorab in Asien, an Staubsedimente denken. Jeder Staubsturm (S. 217, 309) überzieht den zentralasiatischen Steppenboden mit einer Schicht, welche vielleicht bloss Papierdicke besitzt; allein da seit unvordenklicher Zeit solche Stürme wehten, so legt sich Decke über Decke, und der spärliche Regen, der angesichts der Bodenkonfiguration keine Denudation zu bewirken vermag, trägt sogar zur Verfestigung bei. Allfallsige Ungleichheiten der Oberfläche werden nivelliert; Unregelmässigkeiten des Bodens werden ebenso unter dem Staube vergraben [137], wie in anderen Fällen eine Ueberschwemmung durch Wasser sie verbirgt. So bilden sich also Schichten von oft sehr bedeutender Mächtigkeit, wie die durch v. Richthofen [138] und v. Middendorff [139] angeführten Beispiele zeigen. Ersterer hebt hervor, dass sich Konglomerate von 700 m vertikaler Ausdehnung vorfinden, in welchen sich der findige Chinese troglodytische Wohnungen zurecht gemacht hat; der gleiche Gewährsmann betont auch, dass keine Gegend sich unter dem strategischen Gesichtspunkte besser zur Verteidigung eigne, als eben das westliche China, denn die an Engpässe und Hohlwege erinnernden Thäler, welche das fliessende Wasser in diese aus festgewordenem Staube bestehenden Gebirge eingeschnitten

hat, werden allseitig von steil aufragenden Hängen begrenzt. Eine solche Landschaft, der Provinz Schan-si angehörig, ist in Fig. 138 abgebildet. Dass diese Staubschichten sehr regelmässig wachsen müssen, ist einleuchtend; man kann die Bedingungen ihres Wachstumes mindestens mit dem gleichen Rechte arithmetisch zu fixieren suchen, mit welchem man ein gleiches bei Tropfsteingebilden [140] gethan hat.

Um eine präzise Bezeichnung für solche äolische Straten zur Verfügung zu haben, schlug v. Richthofen [141] vor, dieselben Löss zu nennen. Dieses Wort war schon früher der Geognosie nicht fremd, indem ganz allgemein fein pulverisierte Erden so benannt wurden. Die Frage allerdings, ob alle unter dem Namen Löss zusammengefassten Bodenarten auf die gleiche Ursache der Ablagerung aus Staub führender Luft zurückzuführen seien, wie sie für die Erdschichten Zentralasiens als sichergestellt gelten darf, ist noch nicht zur Entscheidung gebracht. Sie

Fig. 138.



wird uns im V. Kapitel aufs neue entgegentreten, wenn wir die Verwitterungsprodukte der Lithosphäre generell ins Auge fassen.

In jeder aus Wasser abgesetzten Schicht, sogar in vulkanischen Tuffen, sind pflanzliche und tierische Ueberreste aller Art zu finden; wenn sich eben Organismen zur Zeit, da die Absonderung vor sich ging, im Wasser befanden, so mussten sie ihren Untergang finden, und was von ihrem Körper schwer zerstörbar war, blieb in der einen oder anderen Form erhalten. Anders verhält es sich bei subaërischen Ablagerungen; sie kennzeichnet in dieser Hinsicht lediglich das Vorkommen von Landschnecken, die an Ort und Stelle vom Staube getötet wurden, sowie von Knochen höher entwickelter Steppentiere. Diese Art von Einschlüssen ist mithin im letzteren Falle ganz gleichgültig, im ersteren dagegen um so wichtiger. Denn die vom Steine umschlossenen Reste ehemaliger Lebewesen gewähren uns das einzige Hilfsmittel einer sicheren geologischen Altersbestimmung.

§. 8. **Die Versteinerungen im Dienste der Stratigraphie.** Diese Altersbestimmung stösst so lange auf geringe Schwierigkeiten, als die ursprüngliche Schichtenanordnung keine beträchtliche Veränderung erfahren hat. Falls aber letzteres eingetreten, würde man ohne die Versteinerungen in die grösste Verlegenheit geraten. Petrographische Kriterien können manchmal nützlich sein, aber gewöhnlich lassen sie im Stiche, denn Kalkstein, Sandstein, Thon- und Mergellager kommen in allen Schichten vor, einerlei ob älteren oder jüngeren Datums. Hingegen hat es die Versteinerungskunde oder Paläontologie (παλαιός, alt; ὀντολογία, Lehre vom Seienden) neuerdings so weit gebracht, dass sie aus der botanischen oder zoologischen Beschaffenheit eines Fundstückes sogar den geologischen Horizont, unter welchem sich dasselbe bei normaler Schichtenlage befunden haben würde, erschliessen kann.

Die Wernersche Schule glaubte noch an die Möglichkeit, eine Altersbestimmung der Gebirgsglieder mit wesentlich mineralogischen Mitteln durchführen zu können, und A. v. Humboldt hat in solcher Weise, freilich auch mit steter Rücksichtnahme auf das Streichen und Fallen (S. 670) analog erscheinender Schichten in verschiedenen Ländern, ein System zu schaffen gesucht [143], auf welches hin sofort das Alter einer gegebenen Gesteinsmasse — einerlei, ob aus Wasser oder Feuerfluss abgeschieden — ermittelt werden könnte. Seine emsige Arbeit brachte der Wissenschaft vielfältigen Nutzen; das gesteckte Ziel jedoch konnte nicht erreicht werden. Die Verstösse, welche er bei dem Versuche machen musste, für südamerikanische Lagerungsverhältnisse zeitliche Parallelen in Europa nachzuweisen, hat Ewald [144] aufgedeckt. Erst nach und nach gewöhnte man sich, die Fossilien (fossilis, vergraben; identisch mit ὀρυκτός) oder Petrefakte (petra, Fels; facere, machen) in ihrer Bedeutung für die Erforschung des geologischen Alters anzuerkennen; hiezu musste freilich erst die Natur dieser Gebilde erkannt sein, und bis man dazu gelangte, mussten erst mancherlei Irrtümer überwunden und durch bessere Erkenntnis verdrängt werden.

Einzelne antike Schriftsteller hatten (vgl. I, S. 3) das Wesen der Versteinerungen ganz richtig erkannt. Zeugnisse dafür stellt v. Zittel [145] zusammen; der unbefangene Natursinn der Griechen bewahrte sie vor Thorheiten, in welche viel spätere Geschlechter verfallen sind. Auch aus der Römerzeit wird Interesse an fossilen Zeugen der Vergangenheit gemeldet, wenn schon die Nachricht über das sogenannte paläontologische Museum des Kaisers Augustus mit einiger Vorsicht aufzunehmen ist [146]. Das scholastische Mittelalter kannte derartige Gebilde wohl auch; aber nur gelegentlich, so bei Albertus Magnus, findet sich eine Andeutung des Richtigen [147]; die Mehrzahl glaubte an eine „schöpferische Kraft" (vis formatrix, plastica) der Erde und erklärte die Petrefakte für Naturspiele. Hier, wie so oft anderswo (vgl. S. 99, 439, 513), war Lionardo da Vinci der Vorkämpfer einer neuen Zeit [148], und ihm folgten Alessandro degli Alessandri und Fracastoro [149]. „Der Schlamm des Meeres überzog," so lauten Lionardos Worte in Cantors Verdeutschung [150], „die Tiere selbst; dann trat das Meer zurück, der Schlamm wurde zu Stein um und in den Muschelschalen, wohin er vorgedrungen war." Immerhin war noch hundert Jahre später, als der geniale Kunsttöpfer Palissy mit ähnlichen Anschauungen hervortrat [151], der Boden noch so wenig vorbereitet, dass dieselben als ketzerisch und gefährlich bezeichnet werden konnten. Erst zu Anfang des XVIII. Jahrhunderts war die allein zulässige Auffassung des Wesens der Versteinerungen siegreich geworden, obwohl noch immer einzelne Gelehrte dafür hielten, dass gewisse, durch geometrische Regelmässigkeit ausgezeichnete Bildungen — vorab die Ammoniten — nichts mit organischen Körpern zu thun hätten. Selbst Scheuchzer und der Physiker Sturm hielten an dieser Ansicht fest [152], die um so entschuldbarer erscheint, da selbst noch hundert Jahre später ein Geologe von der Bedeutung L. v. Buchs das Einreihen jener Geschöpfe (Kopffüssler) in das zoologische System für eine schwierige Sache erklärte [153]. Gleichwohl hat Scheuchzer, der in dieser Hinsicht in die Fusstapfen des Engländers Lhwyd [154] trat, die Versteinerungskunde nach anderen Seiten hin mannigfach gefördert [155]. Und während J. Baier [156]

(I, S. 19) den Ammoniten zu ihrem Rechte verhalf, musste auch dieser umsichtige Forscher gegenüber den Belemniten erklären, dass er mit denselben nichts anzufangen wisse, was wiederum nach modernen Paläontologen [157] als wohl begreiflich und eigentlich natürlich betrachtet werden muss. Es hat bis zum Ende des XVIII. Jahrhunderts gedauert, bis die letzten Zweifel daran, dass die Fossilien Lebewesen einer vergangenen Zeit sind, aus der Welt geschwunden waren; noch Goethe [158] wandte sich mit Entrüstung gegen Voltaires frivole Hypothesen über die auf Bergen gefundenen Muschelschalen.

Den Gedanken, aus der Art der Versteinerungen auf die Zeitfolge der Abscheidung der umgebenden Schicht zu schliessen, wird man in rudimentärer Form wohl zuerst bei Vallisnieri nachweisen können [159]. Auch De Maillet (S. 577) wurde, weil er eine kontinuierliche Abnahme des Meerwassers zur Grundlage seiner erdgeschichtlichen Spekulationen gemacht hatte, auf eine Beziehung zwischen paläontologischer Eigenart und geologischer Epoche geführt [160]. Weitaus klarer sah der Deutschböhme v. Born, der [161] über die Möglichkeit, Schichtfolgen durch ihre organischen Einschlüsse zu bestimmen, vollkommen modern dachte; was er nur andeutete, führte W. Smith [162] wirklich durch, indem er die älteren Schichten Grossbritanniens in diesem Sinne nach dem Alter gliederte und sich so den wohlverdienten Namen „Vater der englischen Geologie" erwarb. Hielt er sich hauptsächlich an fossile Tiere, so wurde gleichzeitig auch die Phytopaläontologie oder Lehre von den Gewächsen der Vorwelt durch v. Schlotheim [163] wissenschaftlich begründet.

Im XIX. Jahrhundert lässt sich eine Zweiteilung in der Beurteilung und Behandlung paläontologischer Fragen erkennen. Zunächst bleibt die Versteinerungskunde wesentlich Hilfswissenschaft der Geologie und allgemeinen Geographie; mehr und mehr aber löst sie sich von dieser Verbindung los und erscheint als selbständige Zoologie und Botanik der untergegangenen Organismen. Während die ursprüngliche Richtung zunächst darauf ausgeht, Leitfossilien zu ermitteln, durch deren Vorhandensein sofort das Alter einer bestimmten Schicht oder Lage festgelegt werden kann, sieht die moderne Versteinerungskunde von jeder Bevorzugung einzelner Gebilde ab und legt das Hauptgewicht auf das entwickelungsgeschichtliche Moment. Wie schon bemerkt (I, S. 36) ist unter diesem Gesichtspunkte ein so umfängliches, achtunggebietendes Lehrgebäude errichtet worden, dass vom Geographen von vornherein darauf verzichtet werden muss, sich in demselben heimisch machen zu wollen, wogegen eine gewisse Bekanntschaft mit den Leitfossilien und deren stratigraphischer Bedeutung immer wünschenswert bleibt.

Dieser Teil unserer Disziplin ist vornehmlich durch solche Spezialarbeiten gefördert worden, welche sich an bestimmte Oertlichkeiten und an bestimmte Zeiten hielten, wie solche v. Buch für die norddeutsche Kreide, Cuvier und Omalius d'Halloy für das ältere Tertiär, v. Sandberger und Beyrich für das Tertiär überhaupt, Barrande für die paläozoischen Ablagerungen Böhmens geliefert haben. An eine kompendiarische Zusammenfassung der erhaltenen Resultate ist schon frühe gedacht worden. Den älteren Werken Links [164] und v. Schlotheims [165] folgte das einen Markstein im Fortschritte darstellende, wiewohl vielleicht etwas allzusehr die schwäbischen Verhältnisse berücksichtigende Handbuch Quenstedts [166], und diesem wieder dasjenige [167] von Bronn und Roemer. Den oben gekennzeichneten Standpunkt vertritt mit strenger Folgerichtigkeit das gross angelegte Handbuch v. Zittels [168], in der Weltlitteratur als entscheidende Quelle für alle einschlägigen Fragen anerkannt. Für den Unterricht sind zu empfehlen die Schriften von H. Haas [169] (insonderheit auch dem Geographen), von Steinmann-Döderlein [170] und abermals von v. Zittel [171]. Speziell diesem Fache sind auch resp. der (zeitlich) erste und zweite Teil der oben (S. 669) angeführten Werke von E. Kayser und Neumayr-Uhlig gewidmet; Kokens, der in mehrfacher Hinsicht neue Wege einschlägt, ist oben gedacht worden. Für die fossile Pflanzenkunde haben, von den — nächst v. Schlotheim —

(s. o.) bahnbrechenden älteren Veröffentlichungen Brongniarts [172] abgesehen, Renault [173] und Graf Solms [174] Anleitungen geliefert. Seit 1846 erscheint auch fortlaufend eine Zeitschrift „Palaeontographica“, begründet durch H. v. Meyer, später in die Leitung Dunkers und v. Zittels übergegangen.

Wie erwähnt, gestatten die tierischen und pflanzlichen Einschlüsse eine Ordnung der Schichten nach dem geologischen Alter. Dass dabei nur an eine relative Altersbestimmung gedacht werden kann, leuchtet von selbst ein. Aber auch noch einen zweiten, sehr wichtigen Erfolg hat das eingehende Studium der Petrefakten gebracht. In sehr vielen Fällen geben dieselben nämlich die Mittel an die Hand, festzustellen, in welcher Art von Gewässer das Lebewesen sich aufhielt, welches durch den Akt der Sedimentierung in den fossilen Zustand übergeführt wurde.

Man vermag anzugeben, dass eine Schicht A älter oder jünger als eine gegebene zweite Schicht B sei; man vermag auch zu sagen, ob der Altersunterschied als ein mehr oder minder beträchtlicher angenommen werden müsse. Wohl niemals aber wird man zu absoluter Altersbestimmung auf diesem Wege gelangen, so dass man mit einiger Annäherung an die Wahrheit zu bestimmen in der Lage wäre, ob die Absetzung einer Gesteinslage aus dem Wasser vor so und so viel tausend oder hunderttausend Jahren sich vollzogen habe. Ganz gewiss ist, dass die Stratigraphie durchweg mit ungeheuren Zeiträumen zu rechnen hat, aber damit ist man auch sich zu bescheiden verpflichtet. Der sehr interessante Versuch A. Heims [175], ein noch dazu verhältnismässig einfaches Problem dieser Art wirklich zu lösen, lässt Natur und Grösse der dabei hervortretenden Schwierigkeiten deutlich hervortreten. Brandes hatte, wie einer seiner von Wolf [176] mitgeteilten Briefe an Horner (1803) ersehen lässt, die Idee, durch die Fundorte von Petrefakten den allmählichen Rückgang des Meeres zu kontrollieren, allein selbst in dieser beschränkten Form ist die Aufgabe für uns transzendent. Ob Rudzkis Plan [177], das Mass der Gebirgsfaltung zugleich als geologisches Mass zu verwerten, sich als ein durchführbarer erweist, muss einstweilen dahingestellt bleiben.

Sonst nahe verwandte Organismen können in ihrem versteinten Zustande gleichwohl namhafte Verschiedenheiten aufweisen, je nachdem sie in der Tiefsee oder in seichtem Strandwasser, in brackischen Lagunen oder in Süsswasserseen ihr Dasein verbrachten. Der Geologe spricht demgemäss von abweichender Facies (Gesicht). „Alle die grossen Differenzen, welche lediglich durch lokale Einflüsse, abgesehen von den grossen Zügen der geographischen Verbreitung und der klimatischen Zonen, in der Vergesellschaftung und Entwickelung der Bevölkerung hervorgebracht worden sind, werden Faciesverschiedenheiten genannt“ [178]. Historisch dürfte diese Erkenntnis, dass die Umwelt (franz. milieu) einen entscheidenden Einfluss auf die Tiere und ihr Anpassungsvermögen ausgeübt hat, auf Rouelle und Soldani (zweite Hälfte des XVIII. Jahrhunderts) zurückzuführen sein [179]. Begreiflicherweise wiegen in allen Formationen die Meerestiere der Zahl und Differenzierung nach vor, weil eben von Anfang an das Salzwasser den Löwenanteil der Erdoberfläche beanspruchte, und so stützt sich die geologische Einteilung wesentlich auch auf diese.

Wohl die tiefstgehenden Untersuchungen über die geologische Bedeutung der animalen Lebensbedingungen sind von J. Walther [180] angestellt worden; unter der gewiss nicht zu weit gehenden Voraussetzung, dass auch in erdgeschichtlicher Vorzeit die Organismen gewisser das Leben unterhaltender Triebkräfte bedurften, vergleicht er grundsätzlich mit den Funktionen und Organen der fossilen Tiere die Beschaffenheit von Luft und Wasser in jenen Perioden. „Blicken wir,“ sagt er [181], „zurück auf die Bedingungen, welche in der Gegenwart organisches Leben ermöglichen, so können wir, zusammenfassend, folgende sechs aufzählen: Flüssiges Wasser, Licht, Kohlensäure, Chlorophyll, Sauerstoff, eine Temperatur unter 85° und für die Wasserorganismen über — 3°. Solange das Wasser noch in Dampfform in der Atmosphäre schwebte, so lange kein Sonnenstrahl die Dampfwolken durchbrach, konnte keine organische Bewegung entstehen — und wenn damals eine Tiefsee existierte, so war sie unbelebt.“ Die Art und Weise, wie sich die alten Tiere und Pflanzen umgestalteten, als sich das sie umspülende Wasser

zurückzog und langsam hart werdende Gesteinsmasse an ihre Stelle trat, hat J. Walther im einzelnen zu ergründen gesucht, und man begreift (vgl. S. 413) leicht, dass dieser aus zoologischer Schule hervorgegangene Geologe sich lebhaft für die systematische Erforschung der Tiefsee, auch in der Gegenwart, interessieren musste.

§. 9. **Die geologischen Formationen.** Nachdem wir so die Kriterien kennen gelernt haben, nach welchen die Alterszuweisung einer Schicht auch dann erfolgen kann, wenn die natürliche Anordnung die willkürlichsten Störungen erfahren hat, wollen wir die Klassifikation betrachten, nach welcher heutzutage, in allen Ländern übereinstimmend, die mineralischen Massen, aus denen die Erdkruste besteht, durch geologische Horizonte voneinander geschieden werden. Diese Grenzflächen waren ursprünglich Niveauflächen (I, S. 178), haben aber im Laufe der Zeit die bezügliche Eigenschaft grossenteils eingebüsst. Generell nennen wir alle Bestandteile der Erdkruste Felsen; in Bezug auf ihren Ursprung können wir sie als Formationen (formatio, Bildung) charakterisieren. Die weiteren Abgliederungen nehmen wir auf Grund der Beschlüsse [182] des Geologenkongresses von Bologna vor.

Die Zuordnung bestimmter Schichtenfolgen zu einer Zusammengehörigkeit kann nach räumlichem, wie auch — weil zur Abscheidung der betreffenden Gesteinsmasse aus dem Wasser längere oder kürzere Zeit erforderlich war — nach zeitlichem Masstabe geschehen. Eine gegebene geometrische Abteilung muss somit ihr chronologisches Aequivalent haben. So gelangen wir zu nachstehenden Festsetzungen. Eine Gruppe oder Aera umfasst mehrere (bis zu fünf) Formationen (Systeme) oder Perioden; ein System zerfällt in Sektionen (Serien) oder Epochen; eine Sektion zerlegen wir in Stockwerke oder Altersstufen (franz. étage; engl. stage; ital. piano); die Einzelbestandteile einer Stufe endlich sind die Schichten (couche, assise, strato), deren Existenz dafür bürgt, dass während des zu ihrer Bildung notwendigen Prozesses die Verhältnisse sich ganz gleich geblieben sind. Mehrere benachbarte Schichten kann man als Teilstufe (sous-étage) zusammenfassen.

Aus den oben citierten Worten Walthers lässt sich schliessen, dass es eine Zeit gegeben haben wird, in welcher der Erde die organische Besiedelung noch gänzlich fehlte. In der That trifft dies für die untersten uns bekannten Lagen der erstarrten Rinde zu, die hauptsächlich aus Gneis und krystallinischen Schiefern (S. 671) bestehen; der langwährende Streit über die Natur des Eozoon canadense (ἠώς, Morgenröte; ζῶον, Tier), für dessen organischen Charakter namentlich Logan [183] und O. Hahn [184] eintraten, ist durch die mikroskopische Prüfung von Moebius [185] in negativem Sinne entschieden worden. Man hat es mit knolligen Konkretionen (Verwachsungen, d. h. Anhäufungen verfestigter Mineralsubstanz um einen Kern herum) und nicht mit Pflanzen oder Foraminiferen (S. 412) zu thun. Diesen Urschichten gegenüber versagt also die sonst übliche Altersbestimmung, und man ist auf das rein stratigraphische Moment angewiesen. Da diese Felsen an vielen Orten noch ebenso ungestört lagern, wie sie durch die Diagenese (S. 671) oder durch die — von J. Roth [186] speziell studierte — Metamorphose (vgl. I, S. 389) sich gebildet haben, so war eine Alterszuordnung lediglich mit Rücksicht auf die Lage durchführbar.

Wir geben nunmehr die gebräuchliche Einteilung, gewisse nötige Erläuterungen dem nachfolgenden Kommentare vorbehaltend.

A. Archaische oder azoische Aera.

I. Gneis.
1. Boijsche Gneisstufe.
2. Herzynische Gneisstufe.
} Laurentisches System.

II. Glimmerschiefer.
III. Phyllit.
} Huronisches System.

B. Paläozoische Aera.

I. Kambrium. II. Silur. III. Devon. IV. Karbon. V. Perm oder Dyas.

C. Mesozoische Aera.

I. Trias.	II. Jura.	III. Kreide.
1. Buntsandstein.	1. Lias.	1. Untere Kreide. { a. Neokom. b. Gault.
2. Muschelkalk.	2. Dogger.	2. Obere Kreide.
3. Keuper.	3. Malm.	

D. Känozoische Aera.

I. Tertiär.	II. Quartär.
1. Eozän.	1. Diluvium oder Plistozän.
2. Oligozän.	2. Alluvium oder geologische Gegenwart.
3. Miozän.	
4. Pliozän.	

Die Zahlen und Buchstaben sind so zu verstehen, dass Bildungen, welche lexikographisch oder arithmetisch anderen vorhergehen, zeitlich älter als diese sind.

Die Bezeichnung der Aeren oder Formationsgruppen hält sich an die in ihnen begrabene Tierwelt (archaisch = alt; azoisch = tierlos; paläozoische Aera = tierisches Altertum; mesozoische Aera = tierisches Mittelalter; känozoische Aera = tierische Neuzeit). Schon früher (S. 332) hatten wir uns dieser Benennungen teilweise zu bedienen. Die Gliederung des archaischen Zeitalters erinnert von Hause aus an kanadische Lagerungsverhältnisse [187]; laurentisch an den St. Lorenz-Strom, huronisch an den gleichnamigen See, und später hat v. Gümbel die Gneisstufe detailliert [188], indem er die von ihm im Böhmerwald gemachten Beobachtungen zur Norm nahm. — Kambrium erinnert an Cambria, das heutige Wales; Silur an das aus Caesar bekannte streitbare Volk der Silurer im westlichen England; Devon an die gleichfalls dort zu findende Grafschaft Devonshire. Obwohl man jetzt weiss, dass die karbonische Formation, das Karbon oder die Kohlenstufe, durchaus nicht allein Steinkohlen führt, hat man doch den seit dem Anfang des XIX. Jahrhunderts geltenden Namen [189] beibehalten. Das Wort Perm ist dem nordrussischen Gouvernement gleichen Namens angepasst, weil man irrtümlich glaubte, diese Bildung gerade hier besonders kräftig entwickelt zu finden; Dyas (Zweiheit) ist ein wesentlich nur für das deutsche Mittelgebirge zutreffender Terminus, indem für dessen Bereich die Sektion in die beiden Teilstufen Rotliegendes (älter) und Zechstein (jünger) zerfällt [190]. — An der Arbeit, die zunächst über dem Paläozoikum gelegenen Sedimente weiter zu gliedern, haben sich vorzugsweise deutsche Forscher beteiligt, unter denen wir Füchsel [191] und Freiesleben [192] besonders nennen wollen, bei denen wir grossenteils die uns heute geläufige Nomenklatur, wenn auch noch einigermassen schwankend, angewandt finden. Als Trias (Dreiheit) hat nach Kayser [193] zuerst v. Alberti [194] die drei in dieser Formation enthaltenen Sektionen vereinigt. Der Buntsandstein (grès bigarré) ist durch seinen Namen genugsam gekennzeichnet; desgleichen der Muschelkalk, der auch von anderen Nationen ebenso genannt wird; Keuper endlich (marne irisée) ist eine nordfränkische Lokalbezeichnung. Was wir jetzt, in Anlehnung an die drei bekannten Jura-Gebirge der Schweiz, Schwabens und Frankens, Jura nennen, hiess früher Oolithformation, weil man von der unrichtigen Meinung ausging, einzig dieser Stufe eigneten die eiförmig gebildeten Steine, die aber thatsächlich überall anzutreffen sind. Die Dreiteilung im Jura hat zuerst v. Buch [195] folgerichtig durchgeführt; nachher haben, neben den Engländern, Quenstedt [196], A. Oppel [197], D. Brauns [198] und vor allem Neumayr [199] diese Formation aufs sorgfältigste bearbeitet. Die oben angegebenen englischen Regionalnamen können auch durch die Bezeichnungen schwarzer, brauner und weisser Jura ersetzt werden. Neuerdings wird es üblich, den Lias als selbständigen Formationsteil vom Jura loszutrennen. Unsere gegenwärtige Einteilung der Kreideformation, die auch dann so heisst, wenn die chronologisch einzurechnenden Gesteine mit der weissen Schreibkreide, die allerdings Patenstelle vertrat, nicht das mindeste zu thun haben, geht in der Hauptsache auf D'Orbigny [200] zurück, dessen Schema H. B. Geinitz [201] auf die deutschen Verhältnisse übertrug. Bei Neokom hat man an die schweizerische Stadt Neuenburg (lat. Neoconum), bei Gault an eine gewisse Thonart zu denken, welche in England diesen Titel führt und für das Oberstockwerk der Unterstufe der kretazeischen (oder Kreide-) Formation (franz. système crétacé) wenigstens in ihrem Heimatlande typisch ist. — Die Gliederung des Tertiärs bahnte Omalius D'Halloy

(S. 676) an [202], während als besondere Partialstufe das Oligozän durch Beyrich [203] selbständig gemacht wurde. — Das Plistozän (πλεῖστος, am meisten; καινός, neu) wird auch Diluvium genannt, weil es nach übereinstimmender Ansicht der älteren Geologen das Zeitalter gigantischer Ueberflutungen war. Heute wird jedoch die dereinst den Kataklysmen zugeteilte Rolle den Gletscherschwankungen überwiesen, und die Diluvialperiode ist durch die mehrfach wiederholten Eiszeiten (S. 338) charakterisiert, deren geologische Bedeutung Kap. V zu würdigen hat. In Europa wurde die letzte Eiszeit von der prähistorischen Epoche durch ein Intervall geschieden, während dessen ein ausgesprochenes Steppenklima herrschte. Alluvialzeit nennen wir den durch Prähistorie und Geschichte genauer erforschten Zeitraum, in dem wir gegenwärtig leben, aus dem Grunde, weil wir die embryonale Schichtung durch fluviatile und marine Anschwemmung ununterbrochen zu verfolgen im stande sind.

Unsere Einteilung ist weit davon entfernt, vollständig zu sein, doch können die feinere Differenzierung nur die paläontologischen Fachschriften begründen. Nur ein paar Punkte von allgemeinem Interesse mögen noch Erwähnung finden. Die obersten Etagen im Buntsandstein werden als Röth (örtliche Bezeichnung) herausgehoben [204]; dieses Wort ist nicht zu verwechseln mit Rhät (rhätischer Stufe), der obersten Partie des alpinen Keupers [205]. — Während Jura und Kreide zumeist ziemlich scharf voneinander geschieden sind, findet anderwärts, namentlich im östlichen Europa, ein ganz allmählicher Uebergang von der älteren zur jüngeren Formation statt [206]; die Partialstufe, in welcher diese Vermittelung sich vollzieht, ist das sogenannte Tithon von Oppel [207]. Von Neumayr allerdings wird Tithon als oberste Juralage aufgefasst [208]. — Am meisten bedarf der Nachträge, was oben über die Kreide gesagt wurde. Dem Neokom ist an anderen Orten (Südengland und Norddeutschland) das Wealden (Wälderthon) zeitlich äquivalent, welches als Süsswasserbildung anzusehen ist [209]. Für die obere Kreide, bezüglich deren allerdings auch die Aufstellungen D'Orbignys in der Hauptsache massgebend verblieben [210], gilt die genauere Gliederung Schlüters [211]; von unten gegen oben haben wir: Cenoman (antiker Name für die französische Stadt Le Mans), Turon (Tours), Senon (Sens), Dänische Stufe (Danien). Diesem jüngsten Schichtkomplexe der Kreideperiode gehört die gesamte baltische Kreide an, als deren landschaftlich hervorragende Vertreter die Steilabstürze von Stubbenkamer und Moën bekannt sind. — Als eine Zwischenstufe zwischen oberster Kreide und Tertiär hat man neuerdings [212] das Paleozän (alte Eozän) definiert.

Die organische Welt aller dieser Formationen und Formationsteile ist es also, die eine so exakte Rekonstruktion des ungestörten Schichtenbaues der Erdrinde ermöglichte; überall da, wo eine Schicht wenig oder keine Versteinerungen führt — wie dies z. B. für die Insel Süd-Georgien zutrifft [213] — muss auf die Altersbestimmung zunächst verzichtet werden. Auch der Prozess, welcher den lebenden Organismus petrifizierte, kann da von grossem Einflusse sein, denn nicht alle die Vorgänge, welche hier mitwirken können, führen einen gleich guten Zustand der Erhaltung herbei. Am besten erkennbar sind die Fossilien dann, wenn Versteinerung im engeren Sinne oder Vererzung (Metallisierung) stattgefunden hat, wenn also gelöste mineralische Stoffe — Kieselsäure, kohlensaurer Kalk, Eisenkies, Roteisenstein, Blei- und Silberglanz u. dgl. — die Weichteile des Tier- oder Pflanzenkörpers ausgelaugt haben und in den so entstandenen Hohlräumen fest geworden sind. Unsicherer ist die — in §. 10 zu besprechende — Verkohlung in ihren Resultaten, obwohl auch durch sie die Objekte sich oft wunderbar konservieren. Die Verwitterung (Kalzinierung) entzieht Schalen und Knochen die leichter löslichen Mineralbestandteile, so dass die fossilen Reste sehr leicht bei Luftzutritt zerfallen. Die Inkrustation (Ueberrindung) überzieht den Körper mit einer Rinde, so dass die äusseren Formen der Oberfläche sich nicht selten ganz fein im Ueberzuge abdrücken. Recht häufig sind

Abformungen; von Muscheln, Schnecken u. s. w. sind dann nur die Steinkerne zurückgeblieben, die aber zumeist ein sehr deutliches, negatives Bild des Originales gewähren. Dahin gehören auch Eindrücke und Fährten; die triassische Amphibienart Chirotherium z. B. (Handtier) hat man nur auf Grund der mächtigen Fusspuren konstruiert, welche dieses Riesentier auf Buntsandsteinflächen Thüringens und Hessens zurückliess [214].

Indem wir jetzt eine gedrängte Uebersicht über die wichtigsten Leitfossilien einschalten, bemerken wir, dass derjenige sich täuschen würde, der einen regelmässigen und lückenlosen Fortschritt in der Entwickelungsreihe von den ältesten bis zu den jüngsten Schichten erwartete. Erstens ist unser paläontologisches Wissen, selbst wenn eine stufenweise Vervollkommnung der Lebewelt als ein Axiom der Deszendenztheorie (Descendentia, Abstammung) hingenommen werden wollte, noch immer ein viel zu unfertiges, und zweitens ist es nicht unwahrscheinlich, dass dereinst auch die als azoisch (S. 678) bezeichneten Formationen organisches Leben enthielten, welches nur die mancherlei tellurischen Katastrophen nicht zu überdauern vermochte und spurlos zu Grunde ging. Ueber die Notwendigkeit, dass Lücken in der paläontologischen Ueberlieferung bestehen, hat sich J. Walther [215] ausgesprochen. So begegnen wir schon im uralten Silur und Devon hoch entwickelten Fischen [216], während allerdings im Kambrium als vollkommenste Tiere gewisse Kruster, in erster Linie die durch ihren dreigliederigen Bau ausgezeichneten Trilobiten, erscheinen [217]. Die Amphibien, also die nächst höheren Wirbeltiere, treten spärlich im Karbon, reichlicher im Perm auf (durchweg erst in der Trias ihre eigentliche Entfaltung findend [218]); im Zechstein gibt es auch bereits einzelne Reptilien, die dann im Mesozoikum recht eigentlich den Charakter der Tierwelt bestimmen. Am bekanntesten sind in der Trias Belodon (Pfeilspitzenzahn) und Aëtosaurus (Adlereidechse), von welch letzterer Art O. Fraas eine überaus merkwürdige Gruppe dem Stuttgarter Naturalienkabinette zu übermitteln so glücklich war [219]. Aus der Trias gehen in den Jura über Ichthyosaurus (Fischeidechse) und Plesiosaurus (πλησίον, nahe; so genannt, weil dieser Saurier häufig in der Nachbarschaft des vorgenannten gefunden wurde). Ersteren schildert E. Fraas, der an der Hand neuer württembergischer Fundstücke die älteren Rekonstruktionsversuche des Tierleibes mehrfach berichtigen durfte, mit folgenden Worten [220]: „Ein delphinartiger Saurier mit langer, spitziger Schnauze und gestrecktem, walzenförmigem Leibe, der in einem langen Ruderschwanze endigte; die Füsse sind zum Schwimmen eingerichtet und, wie bei den Walen, als Paddeln entwickelt.“ Ferner sind dem Jura eigen die abenteuerlichen Flugsaurier [221] und, als grösste Rarität, der bislang nur zweimal, und zwar in den Kalkschieferbrüchen von Solnhofen (Mittelfranken) gefundene Archaeopteryx (Urvogel) [222], der nach der mustergültigen Bearbeitung von Dames [223] Merkmale von Vogel und Reptil in sich vereinigt, aber doch wahrscheinlich zu sehr Vogel ist, um als eigentlicher Misch- oder Kollektivtypus angesprochen werden zu können. Auch die Dinosaurier (δεινός, schrecklich) sind mannigfaltig vorhanden und setzen sich in die Kreide hinein fort, in welcher die Riesenreptilien — der plumpe Iguanodon [224] (Leguanzahn, weil das Tier einigermassen an die Leguane Südamerikas erinnert) und der schlanke, von Faujas de la Fond [225] im Petersberge bei Maastricht entdeckte Mosasaurus [226] (Maaseidechse) — ihr Ende finden, zugleich aber der modernen Form der Schlangen [227] Platz machen. Auch grosse Vögel mit scharf gezähntem Schnabel dienen zur Charakterisierung des Kreidezeitalters [228]. Säugetiere hat es in der ganzen Trias, wie Zahnfunde von Beuteltieren aus Südafrika, aus dem schwäbischen Rhät (S. 679) und dem englischen Dogger beweisen [229], gegeben, allein dieselben müssen damals eine recht untergeordnete Rolle gespielt haben. Um so grossartiger war in allen drei Hauptformationen die Mannigfaltigkeit der Kephalopoden (Kopffüssler), von denen, wie wir erfuhren, die Ammoniten (Ammonshörner, so genannt wegen der Aehnlichkeit mit den Widderhörnern des Gottes Juppiter Ammon) und Belemniten (vgl. S. 675; βέλεμνον, Pfeil, weil das Tier in spitz zulaufender Röhre lebte) den Paläontologen viel zu schaffen machten, ehe ihre Stelle in der zoologischen Rangordnung klar erkannt war.

Die känozoische Aera entbehrt durchaus jener phantastischen Tierformen, welche dem Mittelalter einen Stempel aufdrückten; nunmehr übernehmen die

Säugetiere die ihnen noch jetzt zukommende Führerrolle, allerdings noch zum Teile mit einer das heutige Mass weit überragenden Körperentwickelung [230]. Die fortschreitende Differenzierung der Säuger hat v. Zittel [231] im Geiste der Deszendenzlehre geschildert. Durch die Auffindung der nordamerikanischen Hyrakotherien (Hyrax, Klippschiefer) ist man in den Stand gesetzt worden [232], die aufsteigende Linie der Unpaarhufer, als deren Schlussglied unser Pferd dasteht, ohne Unterbrechung herstellen zu können. Auch die übrigen Organismen bekunden eine progressive Annäherung an die Gegenwart. Noch mehr gilt dies von der Diluvialfauna, als deren hervorstechendes Merkmal ein ungemein grosser Formenreichtum in Bezug auf Wiederkäuer und ganz besonders auf Hirsche [233] anzusehen ist. Die Höhlenlöwen, Höhlenbären, Höhlenhyänen u. s. w. weichen von den modernen Repräsentanten dieser Ordnungen mehr nur quantitativ, durch stärkere Ausprägung charakteristischer Körperbestandteile, ab. Eine besonders interessante Fauna ist (s. o.) diejenige der spätdiluvialen Steppenzeit, welche uns durch Nehrings Forschungen [234] sehr bekannt geworden ist. Pfeifhasen, Pferdespringer, Steppenziesel und andere Arten, die jetzt als belebende Staffage der zentralasiatischen Steppenlandschaft dienen, bevölkerten die deutschen Gaue. Auch die Eiszeit war keine perennierende, sondern, wie Kap. III und V weiter ausführen werden, schoben sich in die Perioden riesiger Vergletscherung Interglazialzeiten von längerer Dauer und normalen Klimazuständen ein. Penck hat [235] deren Studium zuerst systematisch begonnen und auf die phytopaläontologischen Befunde hingewiesen, aus denen hervorgeht, dass jenes Zwischenklima kein besonders rauhes war. Von vielen Gelehrten, unter denen nur Heer [236] und Nehring [237] genannt sein mögen, sind die pflanzlichen Reste der Interglazialschichten in diesem Sinne gedeutet worden.

Am Schlusse der letzten Uebereisungsperiode erscheint plötzlich der Mensch. Diese Ansicht ist von Penck [238] mit guten Gründen verteidigt worden und dürfte auch noch nicht widerlegt sein, denn Ameghinos Behauptung [239], dass die Pampasthone Argentiniens Spuren eines tertiären Menschen enthalten, konnte sich noch keine allgemeinere Geltung verschaffen, und Bölsches These [240], „die Tertiärzeit umschliesst die Geburtsstunde der Menschheit“, dürfte gegenüber Rankes sorgfältiger Abwägung [241] aller Gründe für und wider nicht aufrechtzuerhalten sein. Gewiss ist, wie M. Hartmanns [242] eingehende Schilderung der anthropoiden (menschenähnlichen) Affen beweist, die Uebereinstimmung in vielen Punkten eine sehr grosse, aber selbst jene angebliche Zwischenform, durch welche E. Dubois [243] die Kluft zwischen Affen und Menschen zu überbrücken bestrebt war, hat sich nach den Untersuchungen W. Krauses und Virchows hiezu als nicht geeignet erwiesen [244]. Dagegen scheint durch die von Kržiž [245], Woldřich [246] und Makowsky [247] mehrfach, hauptsächlich im mährischen Löss (S. 673), gemachten Funde jetzt ausser Zweifel gesetzt zu sein, dass der diluviale Mensch noch mit dem Mammut, dem antediluvianischen Rieseneletanten, gleichzeitig gelebt hat. Gestützt auf die Artefakte, Speisereste und andere Anzeichen menschlicher Thätigkeit, haben die Prähistoriker, unter denen wir Boucher de Perthes [248], J. Lubbock [249], Ratzel [250], Boyd Dawkins [251], De Nadaillac [252], M. Hoernes [253] namentlich aufführen wollen, das vorgeschichtliche Zeitalter in Abschnitte geteilt, die sich den geologischen Zeitaltern an die Seite stellen lassen und nur viel kürzer sind. Eine sehr brauchbare Zusammenstellung des Wissenswertesten hat man wieder von Hoernes [254]. Man lässt auf das paläolithische Zeitalter das mesolithische und neolithische folgen (παλαιός, alt; μέσος, der mittlere; νέος, neu); dieser Steinzeit reiht sich an die jüngere Metallzeit, welche in Kupfer-, Bronze- und Eisenzeit zerfällt; die erstere ist, wie aus der Monographie von Much [255] erhellt, mehr nur eine örtlich entwickelte gewesen. Die beiden Hauptabteilungen der Eisenzeit sind die resp. nach dem bekannten Flecken in Oberösterreich und nach einem reichhaltigen Pfahlbau im Neuenburger-See benannte Hallstatt- und La Tène-Epoche. Die Parallelisierung dieser Zeiträume mit denen der Geologie hat Woldřich durchgeführt [256], indem er dabei natürlich einen Spezialfall, den der Verhältnisse im nördlichen Oesterreich, zur Basis wählte. Ihm zufolge deckt sich die ältere Steinzeit mit dem Diluvium, die jüngere mit dem Alluvium, während die mesolithische Zeit auch geologisch als Uebergangsperiode sich darstellt. Dem Neolithikum fehlen die physischen Parallelen, wogegen das Paläolithikum unserem Gewährsmanne zufolge der Gliederung in eine präglaziale, glaziale, postglaziale, Steppen-, Weide- und Waldstufe fähig ist.

Einige Worte sind noch zu sagen über die zeitliche Identifizierung der Ergussgesteine mit den bekannten geologischen Formationsgruppen. Ausgehend von der Thatsache, dass eine Schicht bereits gebildet sein muss, wenn eine Protrusiv- oder Intrusivmasse (I, S. 373) sich einen Weg durch sie hindurch soll bahnen können, konnte man auch die plutonisch-vulkanischen Massengesteine synchronistisch gliedern, und es ist früher (I, S. 391) die Zusammenstellung mitgeteilt worden, welcher zufolge beispielsweise Syenit als archaisch — oder allenfalls paläozoisch —, Porphyr als mesozoisch, Basalt als känozoisch erkannt wurde. Nur ausnahmsweise wird von der an jenem Orte gegebenen Regel abzugehen sein.

Am ehesten trifft dies zu beim Granit, welcher allerdings der Norm nach in die azoische Aera gehört und hier sehr häufig mit dem Gneis (S. 671) vergesellschaftet auftritt, von dem ihn ja auch nicht die petrographische Beschaffenheit, sondern ausschliesslich das Fehlen der Parallelstruktur unterscheidet. In der That gibt es eine Reihe von Uebergangsformen zwischen beiden Felsarten, welche von Lepsius [257] genetisch untersucht wurden. Gneis ist unter allen Umständen archaisch, während Granit gelegentlich auch noch im Paläozoikum vorkommt. Das hat O. Nordenskiöld [258] nachgewiesen. Derselbe fand Granit eingeschlossen in Schiefergestein, das entweder silurisch oder mindestens kambrisch ist, jedenfalls aber älter als die Intrusivmasse. Lager und Linsen dieser Art kommen mehrfach im skandinavischen Hochgebirge vor, und man hat es mit echtem, intrusivem Granit zu thun, „der gleichzeitig mit den grossen Faltungsprozessen, durch welche die Schiefergesteine aufgerichtet und metamorphosiert sind, unter sehr grossem Drucke zwischen die Schichtflächen da, wo der Widerstand am geringsten war, injiziert wurde.“

Der Paragraph darf nicht geschlossen werden, ohne an einem in der Geschichte der Geologie Epoche machenden Beispiele die Bedeutung der Faciesverschiedenheit zu illustrieren. Als man, unter Vortritt des bayerischen Montanisten Flurl [259], die nördlichen Kalkalpen, die teilweise recht arm an Petrefakten sind, zu studieren begann, musste man sich begnügen, diese Bildung, ohne Unterabteilungen durchführen zu können, schlechthin als Alpenkalk zu bezeichnen. Erst viel später gelang es, wie Neumayr [260] hervorhebt, Oppel und Suess, die relative, nur in der Facies abweichende Uebereinstimmung alpiner und ausseralpiner Fossilien festzustellen und damit die Gliederung der Alpen nach geologischen Horizonten anzubahnen. Zu Ende geführt wurde die schwierige Arbeit durch die berühmten Alpengeologen v. Gümbel [261] und v. Hauer [262], obwohl auch dann noch in den Einzelheiten manches zu thun übrig blieb; das beweist u. a. die Durchforschung des Karwendelgebirges durch Rothpletz [263]. Das allgemeine Ergebnis, zu dem die neueste Zeit gelangte, lässt sich so kennzeichnen: Zum überwiegenden Teile sind die bayerisch-österreichischen Alpen triassischen Alters, aber während die deutsche Mittelgebirgstrias Ablagerungen aus flachen Buchten darstellt, ist die alpine Trias, wie ihre Fauna bekundet, aus einer Tiefsee abgeschieden worden. — Sehr schwer zu ermitteln war auch die Zugehörigkeit des den bayerischen Bergen sich vorlagernden Flysches (schweizerischer Ausdruck); das aus Mergeln, Sandsteinen und Konglomeratbildungen bestehende, versteinerungsarme Gestein [264] scheint doch eher der Kreide als dem Eozän anzugehören, das im Alpenvorlande durch ganze Hügel aus Nummuliten (Münzsteinen), welche zu den Protisten (S. 642) gehören, stattlich vertreten ist und nördlich der miozänen Molasse (auch dieses Wort stammt aus der Schweiz) weichen muss. „Mit dem Flysch schliesst“ — nach v. Gümbel [265] — „ein grosser Abschnitt der Entwickelungsgeschichte der Alpen ab. Es ist nicht zweifelhaft, dass bereits damals eine neue gebirgsbildende Bewegung begonnen hat und ein breiter, vertiefter Raum vor denselben entstanden war. Es ist dies das jetzt von der Molasse eingenommene, voralpine Gebiet, das sich über die Schweiz hinaus, nach SW, die Querschwelle der von den Alpen zum Juragebirge an der Porte de France sich abzweigenden jurassisch-kretazeischen Schichten übersteigend, im Rhônethale fortsetzt und in auslaufenden Buchtungen bis zum Fusse des Juragebirges und andererseits der schwäbischen Alb hinabreicht.“

§. 10. **Minero-, phyto- und zoogene Bildungen.** Die paläontologische Gliederung der Erdkruste hat §. 9 gebracht, aber ein vollständiges Bild von der Mannigfaltigkeit der hier vereinigten, beim Aufbau der Lithosphäre beteiligten Materialien kann erst gegeben werden, wenn wir wissen, in welcher Weise die drei Reiche der Natur, von den akzessorischen (I, S. 391) Fossilien abgesehen, an jenem partizipieren. Dass quantitativ die Hauptsumme minerogen ist, versteht sich ganz von selbst, aber immerhin sind auch die aus der Pflanzen- und Tierwelt hervorgegangenen, dem Akte der Mineralisierung verfallenen Gesteine nicht zu unterschätzen. Dabei wird auf die Korallenbauten, die in Abt. VII, Kap. III ihre Stelle gefunden haben, keine Rücksicht mehr zu nehmen sein. Von den minerogenen Bestandteilen sollen dagegen die Erzgänge und die in Linsen oder Nestern angesammelten, in der Zusammensetzung vom umgebenden Gesteine verschiedenen Massen näher betrachtet werden.

Eine auf neptunistischem Boden (S. 662) beruhende Theorie der die Gebirge durchsetzenden Metallgänge hat Werner [266] aufgestellt, und sein Schüler Freiesleben [267] bildete dieselbe, indem er sich auf die damals kursächsischen Vorkommnisse beschränkte, weiter aus, ohne jedoch in Hypothesen näher einzugehen, da für ihn die Feststellung der thatsächlichen Verhältnisse das wichtigste war. Den Stand der einschlägigen Theorien kennzeichnete er treffend mit Worten [268], die noch jetzt dem Sachverhalte sehr gut entsprechen. „Man lässt die Gänge, als Spalten, teils von unten (durch Sublimation oder Ascension, infolge plutonischer Wirkungen, oder in besonderer Beziehung auf Mineralquellen), teils ebenfalls als Spalten von oben nieder (durch Niederschlag oder Descension) sich ausfüllen, teils durch Ausscheidung aus dem Nebengestein (durch Sekretion und Konkretion), teils mit Hilfe galvanischer oder elektromagnetischer Kräfte entstehen.“ Diese letztere Annahme ist (vgl. I, S. 583) jetzt wohl so ziemlich aufgegeben, aber im übrigen sieht sich auch noch Sandbergers sehr viel später erschienenes Werk [269] zur Prüfung ganz derselben Möglichkeiten veranlasst. Die Auslaugungs- oder laterale Sekretionstheorie (lateralis, seitlich; secretio, Abscheidung) wird als die befriedigendste, dem chemischen Befunde am meisten entsprechende bezeichnet [270]. Allerdings wird sich daneben die eruptive Natur so mancher Gangerfüllung — auch Granitgänge kommen zum öfteren vor — nicht in Abrede stellen lassen; wir verweisen in dieser Beziehung auf die Ausführungen von Reyer [271] und Pošepny [272]. Die Lehre von den Erzlagerstätten, welche durch v. Cotta [273] und v. Groddeck [274] wissenschaftlich begründet worden ist, gibt die Mittel zur wissenschaftlichen Vervollkommnung der Gangtheorien an die Hand.

Was die Edelmetalle anlangt, so ist ihr Auftreten an bestimmte Formationsarten oder Gesteinslagen nicht gebunden; immerhin findet sich zumal Gold, wenn es an primärer, d. h. ursprünglicher Stätte angetroffen wird, vorwiegend im Quarz der paläozoischen Aera (S. 678). Doch war nach v. Richthofen [275] auch die jüngere Tertiärzeit (S. 679), die sich (I, S. 397) durch lebhafte Eruptivthätigkeit auszeichnete, günstig für die Bildung goldführender Gänge. Vielfach übrigens muss sich die Goldgewinnung an Seifen oder sekundäre Stätten halten; die Goldteilchen sind durch das Wasser weit verschwemmt worden und müssen aus Sand oder Schlamm mühsam ausgeschieden werden. Noch immer gilt Kalifornien mit seinen Nebenländern als das erste Goldland der Erde; nächstdem kommt Australien an die Reihe, dessen Reichtum nach Schmeisser [276] noch lange vorhalten wird. Das heutige Neuholland scheint durch einen gewaltigen tektonischen Akt, der sich zu Ende der Devon- oder zu Anfang der Karbonperiode abspielte, zu dem, was es jetzt ist, geworden zu sein, wobei sich dann auch die reichhaltige Goldlager einschliessenden Verwerfungsspalten gebildet haben mögen [277]. Den dritten Platz, der sich aber vielleicht bald in den zweiten verwandelt, nimmt Südafrika ein, über dessen Goldreichtum eine Monographie von Futterer [278] vorliegt. Vor allem ist die Mulde südlich von Witwatersrand am Vaalfluss fast unerschöpflich zu nennen, indem H. Smith die Gesamtausbeute dieser Gegend auf 6450 Millionen Mark veranschlagt [279]. Inwieweit die vielgerühmten Goldfelder von Klondyke (Alaska) nachhaltig sind, muss die Zukunft lehren. Unter

allen Umständen ist die ehedem selbst von hochachtbarer geologischer Seite gehegte Befürchtung als widerlegt zu erachten, dass sich mit der Zeit die „Golddecke als zu kurz“, der Gesamtvorrat dieses Metalles als für Währungszwecke unzureichend erweisen werde. Alle neueren Untersuchungen über die geographische und geologische Seite der Goldfrage verzeichnet im Zusammenhange Krahmanns „Zeitschrift für praktische Geologie“ (seit 1895).

Das Vorhandensein leicht löslicher Massen, wie Steinsalz, Gips, Anhydrit u. s. w., ist schon deswegen von geophysikalischer Wichtigkeit, weil durch Wegführung derselben das Gleichgewicht innerhalb der Erdkruste zerstört und der Anlass zu Erdbeben (I, S. 482) gegeben werden kann. Aber auch sonst geben diese Ablagerungen mannigfaltigen Stoff zu interessanten Studien. In der Trias (S. 679), welche die ältere Halurgie (Salzwerkkunde) als das eigentliche Salzgebirge (im bayerischen Dialekte „Haselgebirge“) ansprach, sind Steinsalzlager sehr häufig, aber sie fehlen auch älteren und jüngeren Gebirgsteilen nicht. So gehören die weltberühmten Gruben von Wieliczka und Bochnia (bei Krakau), die seit der Mitte des XI. Jahrhunderts im Betriebe stehen, dem Tertiär, mehrere nordamerikanische Bergwerke dem Silur an. Die ersten exakten Arbeiten übei Salzlager lieferte F. S. Wild [280]; ihm folgten Franklin, v. Claiss und insbesondere A. v. Humboldt, dessen kartographische Darstellung der deutschen Salzquellen leider nicht zur Veröffentlichung gelangt ist [281]. Erst viel später gelangte man zu der Einsicht, dass alle diese Gebirgsglieder Reste einstiger Meeresbedeckung sind, und der Botaniker Schleiden wies [282] darauf hin, dass am Karabugas (S. 433) noch unausgesetzt jener Prozess im Gange sei, welcher in geologischer Vorzeit die Abscheidung der Festkörper aus dem der Verdunstung preisgegebenen Salzwasser bewirkt habe. Die Entstehung der für die Technik so wichtigen Stassfurter Salzschichten, welche der ausgebreiteten, oft besprochenen [283] norddeutschen Salzformation angehören, hat E. Pfeiffer [284] klarzustellen gesucht. Das anhaltische Becken kleidete sich an seinen Wänden zuerst mit Anhydrit aus; später schlugen sich — wie das aus Uziglios Versuchen (S. 433) über die Reihenfolge der Abdampfungsresultate erhellt — Koch- und Bittersalz nieder, welch letzteres in Verbindung mit Karnallit ($KCl + MgCl_2 + 6\,aq$; so nach dem schlesischen Geologen R. v. Carnall genannt) den auch für die bayerisch-österreichischen Salzvorkommen typischen Polyhalit (= viele Salze enthaltendes Gestein) lieferte. Ueber dem Karnallit lagert Salzthon, der mutmasslich ziemlich spät durch schon im Verdampfen begriffene Seewasser zugeführt ward. An tiefster Stelle findet sich der von Zincken dargestellte Kainit ($MgSO_4 + KCl + 3\,H_2O$; καινός, neu), der von den chemischen und Düngerfabriken viel begehrt ist. Man kann annehmen, dass, als die Deckschicht barst, die Tagewasser zu den unteren Karnallitlagern durchdrangen und dieses Mineral teils in Kainit, teils in Hartsalz umwandelten. — Ueber die Bildung reiner Steinsalzeinschlüsse, wie sie dem württembergischen Muschelkalk an Kocher und Jagst eigentümlich sind, wird durch eine Schrift von Endriss [285] Licht verbreitet.

Die Mineralbildungen pflanzlichen Ursprunges werden mit dem zusammenfassenden Namen Kohle bezeichnet. Langsame Verwesung unter Wasser bei nahezu vollkommenem Luftabschlusse nennen wir Verkohlung; sie führt schliesslich dahin, dass die organische Substanz mehr und mehr verschwindet und dass nur noch reiner Kohlenstoff (C) übrig bleibt. Je gründlicher diese Metamorphose sich vollzogen hat, um so höher ist der technische (Brenn-) Wert der Kohle. Wenn wir bloss die besonders charakteristischen Stadien des Umbildungsprozesses ins Auge fassen, so ergibt sich uns nachstehende Entwickelungsreihe: Torf, Braunkohle, Stein- oder Schwarzkohle, Anthrazit (ἄνθραξ, Kohle), Graphit (γράφειν, schreiben; weil die Inlage der fälschlich so genannten Bleistifte aus diesem Stoffe besteht).

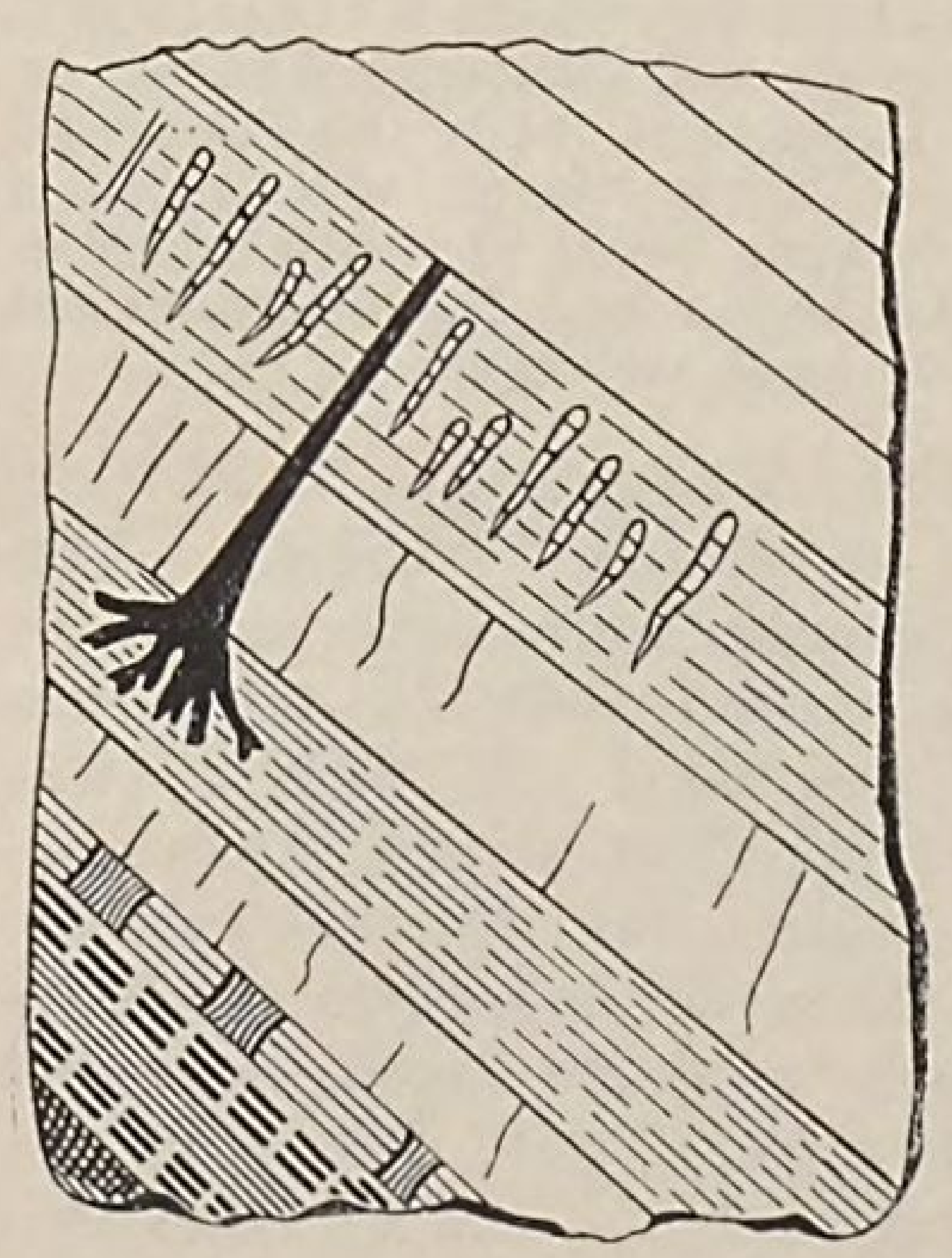
Wenn der atmosphärische Sauerstoff Zutritt zur Pflanze findet, so vermodert dieselbe und zerfällt gänzlich, während im verkohlten Pflanzenkörper dessen Struktur oft ganz vollständig erhalten bleibt. Der Fortschritt der Umbildung des ursprünglich aus Kohlenstoff, Wasserstoff, Sauerstoff

und Stickstoff bestehenden pflanzlichen Gewebes (Holzfaser) wird durch folgende Tabelle [286] verdeutlicht:

	C	H	O	N		C	H	O	N
Hlzfr . .	50	6	43	1	St . . .	82	5	12,5	0,5
T . . .	59	6	33	2	A . . .	95	2,5	2,5	—
Br . . .	69	5,2	25	0,8	G . . .	100	—	—	—

Der Torf ist ein dichtes Gemenge von Sumpfpflanzen, und zwar unterscheidet man den hauptsächlich aus Sphagnum-Arten sich zusammensetzenden *Moostorf* und den *Heidetorf*, zu welchem Erika und Calluna das Hauptkontingent stellen. Wir werden, wenn wir zur Behandlung der Moore kommen (Kap. IV), auch der Entstehung des Torfes nochmals zu gedenken haben. Torf ist zumeist rezent, gelegentlich aber auch diluvial, während die älteren Perioden von diesem Anfangsstadium nichts mehr aufweisen. — Die tertiäre Braunkohle, deren bekannteste Fundstätten das nördliche Böhmen birgt, tritt, je nach Umständen, als *erdige* oder *Pechbraunkohle* auf; die an Eisenkies reiche *Lettenkohle* steht in Oberbayern vielfach an. Naturhistorisch hat diese Kohlenart, welche übrigens mit der eigentlichen Steinkohle durch die verschiedensten Uebergänge verknüpft ist, am besten *Zincken* [287] geschildert. — Der Anthrazit, von dem insbesondere das nördliche China unerschöpfliche Mengen enthält, ist jener „hässliche schwarze Stein“, dessen schon im Mittelalter *Ibn Batuta* und *Marco Polo* Erwähnung thun [288]. — Was den Graphit anlangt, der nirgends so massig und gediegen wie in den sibirisch-chinesischen Grenzgebirgen ansteht, der aber auch im südöstlichen Böhmerwald eine schwunghaft betriebene Schmelztiegelfabrikation möglich machte [289], wird von manchen Geologen auch als ein ursprünglich organischer Körper aufgefasst, allein die ungeheure Länge der Zeit, während welcher der Prozess sich bis zum letzten Endziele erledigen konnte, habe auch die letzte Spur der wahren Herkunft verwischt. Graphit ist stets eine archaische (S. 678) Bildung, und deshalb wird von anderer Seite dieser phytogenen Auffassung widersprochen [290]; die chemische Metamorphose soll reinen Kohlenstoff erzeugt haben.

Fig. 139.



Nun erhebt sich die weitere Frage: *Wie haben wir uns die Kohlenlager entstanden zu denken?* Die Gewächse der betreffenden Periode — in der eigentlichen Kohlenzeit waren dies [291] neben mächtigen *Farnen* besonders *Lepidodendraceen* (Schuppenbäume) und *Sigillariaceen* (Siegelbäume) — wurden, darüber herrscht kein Zweifel, vom Wasser überdeckt und fielen so der Verkohlung anheim. *Teilweise befanden sie sich dabei* (S. 684) *am primären, teilweise am sekundären Orte.* Der Umstand, dass man nicht ganz selten die aufrecht stehenden verkohlten Stämme und die wenig verschobenen Wurzelstöcke vorfindet, macht es wahrscheinlich, dass die Umwandlung an Ort und Stelle stattgefunden hat; die Kohlenlager sind in diesem Falle die Reste einer ausgedehnten *Sumpfwaldvegetation* — Manglegebüsche (S. 620), Swamp (S. 634) —, wie sie noch jetzt in Asien, Afrika und Nordamerika weite Flächen bedeckt. Ein Kohlenlager in Neu-Schottland (Fig. 139) liefert durch die Anordnung seiner Teile den besten Beweis für die Annahme, dass auf solche Weise ausgedehnte Karbonisierung statthaben kann [292]. Andererseits findet man aber auch Kohlenlager in flachen Mulden, alten Flussdeltas u. s. w., welche einer sesshaften Vegetation entbehrten; alsdann sind Pflanzenbestandteile aller Art vom Wasser herbeigeflösst worden, und indem diese Massen

sich absetzten und verfilzten, war auch wieder Gelegenheit zur Herausbildung von Kohlenflözen gegeben, die aber schon äusserlich von den zuvor beschriebenen abweichen müssen. Auf die Rolle, welche Barrenbildung (S. 622) bei der Herbeiführung günstiger Vorbedingung zur Kohlenablagerung spielt, ist von Ochsenius [293] hingewiesen worden. Jedenfalls kommt man mit der fundamentalen Voraussetzung ganz gut aus, dass langsame Verbrennung die Triebfeder der pflanzlich-mineralischen Umbildung sei, und braucht nicht zu Zeiträumen hochgradiger Wärmeentwickelung seine Zuflucht zu nehmen, wie dies in früheren Jahrhunderten üblich war und unlängst noch von Seiten E. Brauns [294] geschah. Neumayr erkennt [295] dem hannöverschen Mineralogen v. Beroldingen (1740 bis 1798) das Verdienst zu, die vom Torf zu Braun- und Steinkohle führende Abstufung zuerst richtig erfasst zu haben.

In Verbindung mit den Kohlenflözen treten gelegentlich auch noch gewisse Mineralien auf, welche bei der Bildung ersterer nicht ohne Einfluss waren. Man unterscheidet Erdharzarten und Erdwachsarten [296]. Zu ersteren gehört neben dem Dopplerit, mit dem sich zumal Früh [297] beschäftigt hat, vor allem der Bernstein (als ἤλεκτρον schon den Griechen wohl bekannt). Von ihm sagt, gegen Ende des XV. Jahrhunderts, K. Celtis, er sei nichts anderes als das Harz untergegangener Wälder [298]; eine Behauptung, die ganz das richtige trifft. Dieses Mineral, von welchem Klebs [299], Stoppani [300] und Conwentz [301] unter den verschiedensten Gesichtspunkten handeln, wurde in der neueren Zeit zuerst wieder von Bock [302] zutreffend bestimmt; er entstammt verschiedenen Koniferen, welche während der Tertiärzeit an weit entlegenen Erdstellen, nirgends aber so üppig, wie an der baltischen (Aestyer-) Küste, in Wäldern beisammen standen. Eine Fülle kleiner Tiere wird von dem erstarrten, dereinst aber flüssigen Harze umschlossen [303], dessen technische Verarbeitung schon das graue Altertum kannte. — Unter den Erdwachsen kann am meisten das Ozokerit (Bergtalg, Judenwachs) unsere Aufmerksamkeit auf sich ziehen, welches in Galizien und Rumänien einen Begleiter der Steinsalzlager darstellt und am Kaspischen Meere Naphthadil genannt wird. Es ist aus Kohlenstoff (84%) und Wasserstoff (16%) zusammengesetzt und tritt mitunter schichtbildend auf [304]. Als Körper organischer Herkunft ist dasselbe anerkannt; ob aber diese eine pflanzliche oder aber eine tierische ist, weiss man noch nicht mit Sicherheit. Damit sehen wir uns denn zum dritten Teile der diesem Paragraphen vorbehaltenen Betrachtungen geführt.

Einen nicht bloss qualitativ hervorragenden Bestandteil unserer Lithosphäre bildet das Erdöl, welches, je nach Umständen, in ganz- oder halbflüssigem, ja selbst festem Zustande auftritt. Mehrere andere Kohlenwasserstoffverbindungen bekunden mit diesem Oele so nahe Verwandtschaft, dass man nicht umhin kann, auch eine dem Wesen nach übereinstimmende Entstehungsart durch Verwesung tierischer Körper zu postulieren. Des weiteren kommt das Tierreich für den Aufbau der Erdrinde aus dem Grunde in Betracht, weil es Schichten von ausschliesslich tierischer Zusammensetzung gibt. Zum Schlusse ist aber auch noch der Guano als felsbildendes Gestein zu nennen; den Namen Gestein verdient er ebenso, wie die Kohle (s. o.), obschon organische Stoffe in ihm ganz beträchtlich vorwiegen.

Den Griechen und Römern war die Naphtha (nafata, altpersisch = ausschwitzen) wohl bekannt, da sie an vielen Orten der antiken Oekumene dem Boden entquillt. Im XVI. Jahrhundert sagt Rivius [305] von ihr, sie werde „nicht unfüglichen auff unser Petroleum gedeutet“; dieses Wort dürfte hier in der deutschen Litteratur vielleicht erstmalig vorkommen. Gewöhnlich stellt man die leichtflüssige Naphtha dem minder viskosen (I, S. 346) Stein- oder Erdöl gegenüber. Die bekanntesten Fundstellen sind die Halbinsel Apscheron im Kaspischen Meere mit der den Feueranbetern heiligen Stadt Baku, über deren typische Eigentümlichkeiten ein lebhafter Bericht von B. Stern [306] verglichen werden kann; sodann das riesig ausgedehnte Oelgebiet der Vereinigten Staaten (Pennsylvanien). Europas reichste Petroleumbrunnen fliessen in Galizien und überhaupt in den Karpathenländern; in Deutschland verdienen die als heilkräftig berufenen St. Quirinsquellen

bei Tegernsee und Peine in Hannover genannt zu werden. Was über den erwähnten oberbayerischen Oelfluss, den man um 1440 an der irisierenden Haut des benachbarten Seewassers (vgl. S. 461) bemerkte, zu sagen ist, findet man bei v. Gümbel [307] ganz umfassend zusammengestellt. Aus den ungemein vielseitigen Diskussionen über die Entstehung des Petroleums, an denen sich v. Buch, Wall, v. Hochstetter, Daubrée, O. Lang, Heusler u. a. beteiligt haben, heben wir besonders die Untersuchungen von C. Engler [308] und v. Werveke [309] heraus, weil aus ihnen eine gute Uebersicht über das bisher Geleistete zu entnehmen ist. Für ein tierisches Zersetzungsprodukt hatte zuerst Hoefer [310] das Erdöl erklärt; er hielt dafür, dass es sich unter sehr hohem Druck, bei nicht allzu hoher Temperatur, gebildet habe. Englers Experimente mit sogenanntem Leichenwachs, wie es sich in Friedhöfen mit ungeeigneter Erdbeschaffenheit nur allzu häufig ansammelt, bewiesen, dass mit solchem Fette durchtränktes Sedimentgestein sehr wohl als Ursitz der Erdölbildung angesehen werden kann. Natürlich bleibt noch eine Hauptfrage offen: Wie kann man sich das Zustandekommen der Massengräber von Tierleibern vorstellen, deren Leichenwachs das Material zu den modernen Naphthalagern lieferte? Zincken [311] denkt an die Leichen der Meerestiere, Werveke (s. o.) neigt eher der Ansicht Andrussows zu, wonach eine Brackwasserfauna durch Einbruch von Meerwasser plötzlich den Tod fand. Die einzelnen Stadien des Bildungsvorganges sind nach Engler-Werveke die folgenden: „Bildung von Massengräbern mariner Fauna (in selteneren Fällen auch von Süsswassertieren); Vermischung und Ueberlagerung mit Sand und Schlamm (Kalk, Thon); weitere Bildung darüber gelagerter Sedimentärgesteinschichten; daneben, oder schon vorher, Fäulnis der stickstoffhaltigen Tiersubstanz; Ausscheidung der freien Fettsäuren aus den zurückgebliebenen Fettresten, worauf nach stattgehabter Hebung der Ufer oder Becken, beziehungsweise durch Senkung derselben der Umwandlungsprozess in Erdöl vor sich ging.“ Aus Heuslers Experimenten [312] zieht Ochsenius [313] den Schluss, dass Mutterlaugensalze ein unentbehrliches Substrat der Erdölbildung sind, und dass Petroleum nur ein durch Mutterlaugenwirkung verändertes Bitumen darstellt. — Dieser letztere Stoff ist wahrscheinlich mit dem Ozokerit (s. o.) und ganz gewiss mit dem Asphalt (Bergteer) nächst verwandt und chemisch einem Gemenge ungleichartiger Kohlenwasserstoffverbindungen gleichzuachten [314]. Das Bitumen, mehr starr als flüssig, ist in der Umgebung des Toten Meeres massenhaft zu finden und schwimmt auch in Stücken auf dem durch hohes spezifisches Gewicht ausgezeichneten Wasser dieses Salzsees; für Asphalt ist die beste europäische Bezugsquelle das Val Travers im Kanton Neuenburg. Naturmerkwürdigkeiten ersten Ranges sind der Pitch Lake (Pechsee) auf der Insel Trinidad, für welche deshalb v. Fritsch [315] den Asphalt als Felsbildner in Anspruch nimmt, und ein analoges Vorkommnis in Venezuela, wo sich nach Fortin [316] eine 10 bis 12 km lange, ganz und gar mit „Glance Pitch“ bedeckte Ebene längs der Meeresküste hinzieht.

Die Bedeutung der niedrigen Lebewesen für die Felsbildung konnte erst nach Verbesserung der mikroskopischen Methoden erkannt werden. Es war Ehrenberg, der hier die Bahn brach; zahlreiche Schriften und Aufsätze aus seiner Feder [317] verbreiteten Licht über die geologische Rolle der Tierwelt, wie dies an anderem Orte näher erläutert worden ist [318]. Neben Tieren nehmen, das erörtert besonders Kollmann [319], auch Pflanzen, so die uns als Meeresgrundbildner bekannten Diatomeen (S. 412), an der Bauthätigkeit der Organismen teil. So ruht Richmond (Virginien) auf einer etwa 5 m mächtigen Meeresablagerung solcher Kieselalgen; auch die „Erde von Tripolis“ gehört hierher, und gleicherweise das essbare skandinavische „Bergmehl“, wie auch der bekannte Polierschiefer von Bilin (Böhmen). Die weisse Schreibkreide Rügens (S. 680) ist nur ein Konglomerat aus Infusorienschalen, und sogar in vulkanischem Trass (I, S. 386) glaubte Ehrenberg tierisches Leben vergangener Zeiten nachweisen zu können. Ging er hierin, wie auch in der Behauptung zu weit [320], dass alle Kreidekalke der Erde tierischen Ursprunges seien, so arbeiteten andererseits seine gehaltvollen Untersuchungen über Staubregen [321] der Lehre von der äolischen Schichtenbildung trefflich vor (vgl. S. 19). Jedenfalls darf durch diese Forschungen, die seitdem mannigfach vervollständigt wurden, eine wichtige Thatsache als gesichert gelten: Namhafte Felslagen des Erdgerüstes sind ausschliesslich durch die Uebereinanderlagerung der Reste untergegangener Lebewesen von zumeist mikroskopischer Grösse anzusehen.

Die Zugehörigkeit der Kalkphosphate, Phosphorite und Apatite (Spargelsteine) zu einem der drei Reiche der Natur ist nicht völlig ausgemacht. Es können Phosphorite auch als Niederschläge in phosphor- und kalkhaltigen Quellen entstehen, aber gewöhnlich wird man in diesen — als Düngemittel geschätzten — Gesteinsarten Reste ehemaliger organischer Substanz zu erblicken haben [322]; möglicherweise sind die Phosphoritknollen sogar Koprolithen (fossiler Tierkot). Der Guano (Vogeldünger), dessen beste Sorten von den peruanischen Küsteninseln und den holländischen Antillen stammen, ist zum geringeren Teile rezent; man kann ihn mit Neumayr [323] als subfossil bezeichnen. Er stellt sich dem Auge dar [324] als erdiges Gemenge von Phosphaten des Calciums, Ammoniums und Magnesiums mit Thon und allerlei Salzen und war auf den Chinga-Inseln (s. o.) in mächtigen Schichten vorhanden, welche durch regelrechten, bergmännischen Abbau jetzt freilich sehr erniedrigt worden sind. Diese seine Eigenschaft hat den Guano als richtigen Felsbildner und, wie Meyns Monographie [325] zeigt, als Objekt geologischen Studiums erscheinen lassen.

Auch die Natronsalpeterlager der Wüste Atacama [326] (Chile), welche mit Boraxschichten wechsellagern, wurden mit der Sekretionsthätigkeit der Seevögel in Zusammenhang gebracht. Die Arbeiten von Harding [327], D. Forbes [328], Pissis [329] hatten verschiedene Hypothesen in Erwägung gezogen, ohne über mehr als über die Anteilnahme des nahen Meeres an der Salpeterbildung Klarheit geschaffen zu haben. Ochsenius [330] legt sich die Gesamtheit der einschlägigen Vorgänge zurecht, wie folgt. Eine Landhebung bewirkte, dass Steinsalzlager zu Tage traten, welche Einschlüsse von Mutterlauge (s. o.) enthielten; letztere floss ab, staute sich im Küstengebirge und erzeugte unter der Einwirkung vulkanischer Kräfte Natron, welch letzteres dann, unter Zutritt des in jenen Gegenden immer von neuem abgesetzten Guanos, in den charakteristischen Natronsalpeter überging. Für die Wahrscheinlichkeit partiell organischer Entstehung zeugt auch der Umstand [331], dass in Ungarn, Persien und Ostindien oftmals die Ausblühung von Kalisalpeter in der Nachbarschaft von Begräbnisplätzen beobachtet wird.

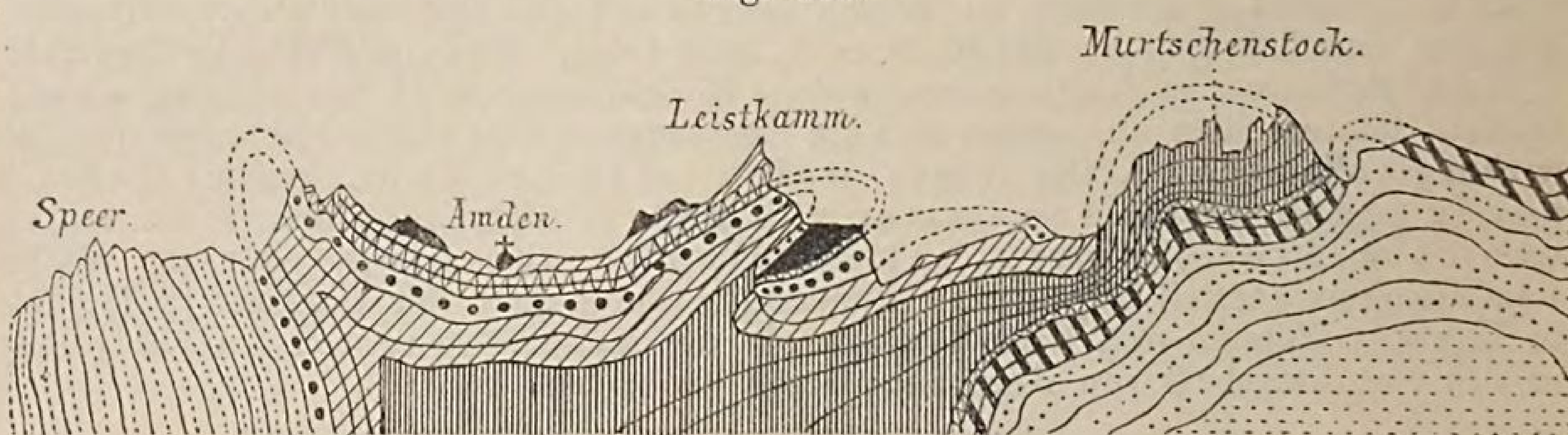
§. 11. **Geologische Karten.** Der Geophysik dienen geologische Karten als unentbehrliche Grundlage, sei es, dass dieselben wesentlich stratigraphischen Zwecken genügen, so dass also aus ihnen zu ersehen ist, in welchen Horizont ein gegebenes geographisches Gebilde versetzt werden muss; sei es, dass sie uns mit dem petrographischen Charakter des anstehenden Gesteines, ohne Rücksicht auf die Formation, bekannt machen. Eine der obersten Pflichten der terrestrischen Morphologie (Kap. V) ist es, Zusammenhänge zwischen distanten Gebirgen und Gesteinslagen zu ermitteln, und an eine solche Aufgabe kann, wie sich von selbst versteht, nur dann mit Aussicht auf Erfolg herangetreten werden, wenn aus der Karte das Auftreten gewisser synchronistisch oder mineralogisch zusammengehöriger Bildungen ohne weiteres ersehen werden kann.

Der erste Versuch, eine geologische Karte herzustellen, geht auf das Jahr 1683 und auf den Engländer Lister zurück [332]. In Deutschland war es der treffliche Füchsel (1723—77), und wir lesen bei v. Zittel [333] über ihn folgendes: „Er machte in Deutschland zuerst den Versuch, die Verbreitung der verschiedenen Gesteine auf einer Karte zur Anschauung zu bringen, und so sehen wir denn auf einer Tafel neben einer Anzahl sorgsam ausgeführter Profile eine orographische Karte, worin die einzelnen Schichten mit Zahlen bezeichnet sind, welche in vielfacher Wiederholung den Verlauf und die oberflächliche Verbreitung der Flötze andeuten.“ Ihm folgten Charpentier, der Farben und Zeichen miteinander abwechseln liess, um wichtige und minder bedeutsame Formationsglieder voneinander zu unterscheiden [334], und Guettard, dessen mineralogische Karte [335] von Frankreich und England zwar weniger in systematischer Hinsicht, umsomehr aber bezüglich der Reichhaltigkeit der Eintragungen einen Fortschritt signalisierte [336]. Von da ab mehren sich analoge Arbeiten, und die Systematik wird wesentlich so ausgebildet, wie wir sie noch jetzt angewendet sehen. Peschel

gedenkt [337] vorzüglich, als bemerkenswerter Schöpfungen, der Karten von Jirasek-Gerstner (Dresden 1791; Riesengebirge; 5 Farben), von Gruner (Bern 1805; Schweiz; 4 Farben) und von W. Smith (vgl. S. 676), der die geologische Karte Englands 1815 in 18 Farben lieferte. Die geognostische Karte Deutschlands von Keferstein [338] regte Goethe dazu an [339], Vorschläge für zweckmässige Farbenwahl zu machen; er trat dadurch in unbewusste Konkurrenz mit dem als naturwissenschaftlicher Diletant wenig, als Politiker nur um so mehr bekannten Fürsten Metternich, welcher der Wiener Naturforscherversammlung (1832) recht verständige Pläne für einheitliche, stets wiederkehrende Farbengebung vorgelegt hat [340]. Selbst heute ist dieses Ideal noch nicht allgemein verwirklicht.

Die im engeren Sinne geologischen Karten sind teils Oberflächenansichten, teils Profile (I, S. 315). Erstere unterrichten ausschliesslich über das anstehende Gestein; was sich unter demselben verbirgt, müssen sie unbeachtet lassen. Andererseits zeigen die Vertikalschnitte, wie sich die Schichtenverteilung unterhalb einer gegebenen Oberflächenlinie gestaltet. Falls der Zusammenhang innerhalb der näm-

Fig. 140.



Geognostisches Profil. am Wallenstädter See.

Eocän mit Nummuliten. Molasse. Lias. Sonstige Juraformation. Cretaceische Formation. Gault. Schrattenkalk.

lichen Schicht, die mannigfach gebogen oder gebrochen sein kann, durch erosive oder tektonische Vorgänge unterbrochen worden ist, stellt der Zeichner denselben durch sogenannte Luftsättel wieder her. Der geübte Fachmann bedarf dieser Zwischenglieder nicht, wie sie denn z. B. Lepsius [341] in seinen zahlreichen Profilen deutscher Sedimentgebirge weggelassen hat, aber unter dem didaktischen Gesichtspunkte sind dieselben gleichwohl von unbestreitbarem Werte.

Die Karten erster Art beruhen auf einem einfachen, der darstellenden Geometrie entlehnten Verfahren. Man denkt sich von jedem Punkte der Kontur, welche zwei benachbarte Formationsglieder voneinander scheidet, eine Senkrechte auf die — horizontal gedachte — Zeichnungsebene gefällt; zumal dann, wenn die Anordnung der Massen eine ringförmige ist, so dass etwa die jüngeren Bildungen sich mantelförmig um die älteren herumlegen, ist dieses Verfahren sehr empfehlenswert. Hätte man es mit einer Mulde, statt mit einer Erhebung zu thun, so würde im Inneren die jüngste, nach aussen zu eine immer ältere Lage zu suchen sein. — Vom Wesen der Profile gibt Fig. 140 eine gute Uebersicht, welche dem von A. Heim (S. 678) für den Bologneser Kongress ausgearbeiteten Diagramme nachgebildet ist. Aus derselben ersieht der Kundige sofort, welche gewaltigen Umformungen die Gebirge an der Grenze der Kantone St. Gallen und Glarus unterworfen waren, weil z. B. Juraschichten zwischen dem zur Kreide gehörigen Gault (S. 679) und der übrigen Kreideformation erscheinen, so dass der Zusammenhang dieser letzteren gelöst ist. Der Gipfel des Murtschenstockes weist noch ein Stückchen

Kreide auf, welches, wie der Luftsattel ausweist, vielleicht dermaleinst mit den ziemlich mächtigen Kreidestraten der Mulde zwischen Leistkamm und Murtschenstock ein Ganzes ausmachte.

Alle Länder, in denen geologische Landesanstalten begründet sind, haben anlässlich der sogenannten Landesaufnahme auch entsprechende Karten geliefert. In Osterreich ging die „Reichsanstalt" mit bestem Beispiele voran; Preussens geologische Karte (1 : 25000) ist von Beyrich geschaffen worden, und Bayern hat ein gleiches Werk durch v. Gümbels Mühewaltung erhalten. Die neueren Kulturstaaten besitzen durchweg zur Zeit geologische Karten, wenn auch nicht allenthalben von gleicher Exaktheit.

[1] G. P. W., IV, 2, S. 1245 ff. — [2] Whewell, History of the Inductive Science, III, London 1847; deutsch von J. J. v. Littrow, III, Stuttgart 1840. — [3] D'Archiac, Histoire des progrès de la géologie de 1834—45, Paris 1847—52. — [4] Zoeckler, Geschichte der Beziehungen zwischen Theologie und Naturwissenschaft, II, Gütersloh 1879. — [5] J. Geikie, The Founders of Geology, London 1897. — [6] E. v. Lasaulx, Die Geologie der Griechen und Römer; ein Beitrag zur Philosophie der Geschichte, München 1851. — [7] H. F. Link, Die Urwelt und das Altertum, I, Berlin 1821. — [8] v. Lasaulx, a. a. O., S. 39 ff. — [9] H. Fischer, Ueber einige Gegenstände der physischen Geographie bei Strabon, als Beitrag zur Geschichte der alten Geographie, Wernigerode 1879. — [10] Serbin, Strabons Bemerkungen über den Vulkanismus und Beschreibung der den Griechen bekannten vulkanischen Gebiete, Erlangen 1893. — [11] Kretschmer, Die physische Erdkunde im christlichen Mittelalter, Wien-Olmütz 1889 (P. G. A., IV, 1). — [12] Élie de Beaumont, Fragments géologiques tirés de Stenon, de Kazwini, de Strabon et de Boun-Debesch, A. s. n., XXV, S. 337 ff. — [13] Daubrée, Descartes l'un des créateurs de la cosmologie et de la géologie, Paris 1880. — [14] Leibniz-Scheidt, Protogaea sive de prima facie telluris et antiquissimae historiae vestigiis in ipsis naturae monumentis dissertatio, Göttingen 1749. — [15] Ebenda, S. 4. — [16] K. Vogt, Lehrbuch der Geologie und Petrefaktenkunde, II, Braunschweig 1879, S. 384 ff. — [17] Plenkers, Der Däne Niels Stensen, Freiburg i. B. 1885. — [18] Daubrée, a. a. O., S. 8. — [19] Steno, De solido intra solidum naturaliter contento, Florenz 1669; Leiden 1679. — [20] v. Zittel, Geschichte der Geologie, München 1899, S. 33 ff. — [21] Zoeckler, a. a. O., II, S. 123. — [22] Th. Burnet, Telluris theoria sacra, London 1681 (1689); deutsch von J. J. Zimmermann, Hamburg 1698. — [23] J. Woodward, An Essay towards a Natural History of the Earth and terrestrial Bodies, London 1695; Naturalis historia telluris illustrata et aucta, una cum defensione contra Eliam Camerarium, London 1714; deutsch, Erfurt 1744. — [24] Zoeckler, II, S. 148 ff. — [25] Feuerlein, Dissertatio de montibus divinitatis testibus, contra Lucretium et Burnetium, Altdorf 1729. — [26] Lesser, Lithotheologie, d. i. Natürliche Historie und geistliche Betrachtung der Steine, Hamburg 1736. — [27] Ray, On the Dissolution and Changements of the World, London 1692; Drei physikotheologische Betrachtungen von der Welt Anfang, Veränderung und Untergang, Leipzig 1693 (1697). — [28] Zoeckler, II, S. 168. — [29] Pallas, Observations sur la formation des montagnes et les changements arrivés au globe, St. Petersburg 1777. — [30] G. C. Silberschlag, Neue Theorie der Erde, Berlin 1764. — [31] J. E. Silberschlag, Geogonie oder Erklärung der mosaischen Erderschaffung nach physikalischen und mathematischen Grundsätzen, Berlin 1780. — [32] Ebenda, S. 26. — [33] Whitehurst, Inquiries into the original State and Form of the Earth, London 1778 (1786). — [34] Telliamed ou entretiens d'un Philosophe Indien avec un Missionaire français, Paris 1748—55. — [35] A. L. Moro, De crostacei e degli altri corpori marini, che si trovano sui monti, Venedig 1740. — [36] Goethes sämtliche Werke in 40 Bänden, XL, Stuttgart 1869, S. 53. — [37] Hederich, Goethe und die physikalische Geographie, München 1898 (M. G. St., V), S. 9 ff. — [38] Ebenda, S. 28. — [39] Ferber, Briefe aus Wälschland an J. v. Born über natürliche Merkwürdigkeiten dieses Landes, Prag 1773 (franz., Strassburg i. E. 1776; engl., London 1776). — [40] Geikie, a. a. O., S. 52 ff. — [41] Zoeckler, II, S. 154. — [42] Whiston, A new Theory of the Earth, from the Original to the Consummation of all Things, London 1696. — [43] Detl. Clüver, Geologia seu Philosophemata de genesi ac structura globi terreni, Hamburg 1700. — [44] Heyn, Specimen cometologiae sacrae, Leipzig 1742. — [45] Buffon, Époches de la Nature; suppléments à l'histoire naturelle, Paris 1778; deutsch, St. Petersburg 1781; v. Zittel, S. 64 ff. — [46] Reyer, Neptunisch oder plutonisch? G., XIX, S. 140 ff. — [47] v. Zittel, S. 76 ff. — [48] A. G. Werner, Ueber die äusseren Kennzeichen der Fossilien, Leipzig 1774; Kurze Klassifikation und Beschreibung der Gebirgsarten, Dresden 1787. — [49] Éléments d'oryctologie ou déscription méthodique des fossils, Neuchatel 1773; Oryktognosie oder Handbuch für Liebhaber der Oryktognosie, vermittelst welcher die Mineralien und ihre äussere Beschaffenheit leicht zu erkennen, Leipzig, 1792. — [50] Hasse, Denkschrift zur Erinnerung an A. G. Werner, Leipzig 1848. — [51] Geikie, S. 150 ff. — [52] R. Wolf, Biographien zur Kulturgeschichte der Schweiz, IV, Zürich 1862, S. 208. — [53] Geikie, S. 187. — [54] Dolomieu, Sur la question de l'origine du basalte, J. Ph., XXXVII. — [55] Dolomieu, Sur un genre de pierres calcaires très-peu effervescentes avec les acides et phosphorescentes par la collision, ebenda, XXXIX. — [56] Breislak, Introduzione alla geologia, Mailand 1811; franz., Paris 1812. — [57] Breislak, Memorie sulle osservazioni fatte da celebri geologi posteriormente a quella di Conte Marzavi intorno alla giacitura dei graniti di Tirole meridionale, Mailand 1824. — [58] J. Hutton, Theory of the Earth, with Proofs and Illustrations, London 1795. — [59] Playfair, Illustrations of the Huttonian Theory of the Earth, London 1802. — [60] Geikie, S. 169. — [61] J. Hall, Experiments on Whinstone and Laves, T. E. S., V, S. 43 ff. — [62] Penck, Morphologie der Erdoberfläche, I, Stuttgart 1894, S. 385. — [63] Lamarck, Hydrogéologie ou recherches sur l'influence qu'ont les eaux sur la surface du globe terrestre, Paris 1802. — [64] A. Lang, Lamarck und Darwin, ein Beitrag zur Geschichte der Entwicklungslehre, K., I, S. 250. — [65] Cuvier, Discours sur les révolutions du globe et sur les changements qu'elles ont produits dans le règne animal, Paris 1812 (1830); deutsch von Noeggerrath, Bonn 1822. — [66] Dannemann, Grundriss einer Geschichte der Naturwissenschaften, zugleich eine Einführung in das Studium der naturwissenschaftlichen Litteratur, I, Leipzig 1896, S. 245 ff. — [67] Buckland, Reliquiae diluvianae or Observations on the organic Remains, contained in Caves, Fissures and Diluvial Gravel, and on other Geological Phenomena attesting the Action of an universal Deluge, London 1820. — [68] Jameson, Essay on the Theory of the Earth by Baron G. Cuvier, with geological Illustrations, London 1827. — [69] Zoeckler, II, S. 507 ff. — [70] v. Zittel, S. 140 ff. — [71] Montlosier, Essai sur la théorie des volcans d'Auvergne, Paris 1789 (Berlin 1802). — [72] Bruhns, A. v. Humboldt, eine wissen-

schaftliche Biographie, III, Leipzig 1872, S. 102 ff. — [73] K. v. Raumer, Der Granit des Riesengebirges, Berlin 1813. — [74] J. N. Fuchs, Ueber die Theorie der Erde, München 1837; Sendschreiben des Oberbergrates N. Fuchs an Andr. Wagner, ebenda 1844. — [75] Schafhäutl, Die Geologie in ihrem Verhältnis zu den übrigen Naturwissenschaften, München 1843. — [76] G. Bischof, Lehrbuch der chemischen und physikalischen Geologie, Bonn 1847—55. — [77] Mohr, Geschichte der Erde, Bonn 1875. — [78] Volger, Erde und Ewigkeit; die natürliche Geschichte der Erde als kreisender Entwicklungsgang im Gegensatze zur naturwidrigen Geologie der Revolutionen und Katastrophen, Frankfurt a. M. 1857. — [79] D. Brauns, Einleitung in das Studium der Geologie, Stuttgart 1887. — [80] Élie de Beaumont, Sur la corrélation des directions des différents systèmes de montagnes, C. R., XXXI, S. 325 ff.; Notices sur les systèmes des montagnes, A. s. n., III, S. 1330 ff. — [81] Goethe, a. a. O., XC, S. 296. — [82] Pilar, Grundzüge der Abyssodynamik, Agram 1881, S. 3. — [83] Beguger de Chancourtois, Carte du globe en projection gnomonique avec le réseau pentagonal superposé, B. S. G., 1874, II, S. 291 ff. — [84] Lyell, Principles of Geologie, London 1830—33; 12. Aufl., bes. von Foster, London 1876; deutsch von K. Hartmann, Weimar 1841—42. — [85] Penck, Sir Charles Lyells Leben, A., LV, S. 629 ff. — [86] Geikie, S. 281 ff. — [87] Günther, Lehrbuch der Geophysik und physikalischen Geologie, II, Stuttgart 1887, S. 503. — [88] Kneer, Leitfaden zum Studium der Geologie mit Inbegriff der Paläontologie, Wien 1851. — [89] K. F. Naumann, Lehrbuch der Geognosie, Leipzig 1849—54 (2. Aufl., 1858—72). — [90] Dana, Manual of Geology, New York 1863 (10. Aufl. 1880). — [91] H. Credner, Elemente der Geologie, Leipzig 1872 (7. Aufl. 1891). — [92] F. Pfaff, Allgemeine Geologie als exakte Wissenschaft, Leipzig 1873. — [93] Henrich, Vorträge über Geologie, Wiesbaden 1877—78. — [94] De Lapparent, Traité de géologie, Paris 1885. — [95] v. Gümbel, Grundzüge der Geologie, Kassel 1888. — [96] v. Fritsch, Allgemeine Geologie, Stuttgart 1888. — [97] J. Roth, Allgemeine und chemische Geologie, Berlin 1879—93. — [98] E. Kayser, Lehrbuch der Geologie, Stuttgart 1891—93. — [99] Prestwich, Geology, London 1890. — [100] Neumayr, Erdgeschichte, Leipzig-Wien 1886; 2. Aufl., bes. von Uhlig, 1895. — [101] A. Geikie, Textbook of Geology, London 1885. — [102] H. Haas, Katechismus der Geologie, Leipzig 1893. — [103] E. Fraas, Geologie in kurzem Auszuge, Stuttgart 1897. — [104] Wallerius-Denso, Mineralogie oder Mineralreich, Berlin 1763. — [105] Nies, Zur Mineralogie des Plinius, Mainz 1884. — [106] v. Cotta, Gesteinslehre, Freiberg 1862. — [107] Zirkel, Lehrbuch der Petrographie, Bonn 1866; 2. Aufl., Leipzig 1893—94. — [108] O. Lang, Grundriss der Gesteinskunde, Leipzig 1877. — [109] Hussak, Anleitung zum Bestimmen der gesteinsbildenden Mineralien, Leipzig 1885. — [110] Kalkowsky, Elemente der Lithologie, Heidelberg 1886. — [111] M. Levy-Lacroix, Les minéraux des roches, Paris 1888. — [112] Rosenbusch, Mikroskopische Physiographie der petrographisch-wichtigsten Mineralien, Stuttgart 1873; Elemente der Gesteinslehre, ebenda 1898. — [113] Blaas, Katechismus der Petrographie, Leipzig 1882. — [114] v. Kobell-Oebbeke, Tafeln zur Bestimmung von Mineralien (12. Aufl.), München 1884. — [115] E. Kayser, a. a. O., I, S. 100 ff. — [116] M. Schmidt, Die Methoden der unterirdischen Orientierung und deren Entwicklung seit zweitausend Jahren, München 1892. — [117] Agricola, De re metallica (Vom Bergwerk) libri XII, Basel 1530 (Leipzig 1546); De ortu et causis subterraneorum libri, V, Basel 1546; Mineralogische Schriften, deutsch von E. J. T. Lehmann, Freiberg 1806—13. — [118] Reinhold, Vom Marscheiden kurzer und gründlicher Unterricht, Erfurt 1574. — [119] v. Oppel, Anleitung zur Markscheidekunst, Dresden 1749. — [120] v. Bauernfeind, Elemente der Vermessungskunde, II, Stuttgart 1879, S. 414. — [121] Brathuhn, Lehrbuch der praktischen Markscheidekunst, Leipzig 1884; Katechismus der Markscheidekunst, ebenda 1892. — [122] Kaltbrunner-Kollbrunner, Der Beobachter, Zürich 1882, S. 55 ff., 320. — [123] Kayser, I, S. 430. — [124] Ebenda, I, S. 76 ff. — [125] v. Fritsch, a. a. O., S. 165. — [126] v. Gümbel, a. a. O., S. 1056 ff. — [127] Neumayr-Uhlig, I, S. 666. — [128] Durham, Suspension of Clays in Water, Ch. N., XXX, S. 67 ff.; Suspension, Solution and Chemical Combination, ebenda XXXVII, S. 47 ff. — [129] Ramsay, On the influence of various Substances in Accelerating the Precipitation of the Clay suspended in Water, P. M., (5) I, S. 328 ff. — [130] Brewer, On the Suspension and Sedimentation of Clays, A. J. S., (3) XXIX, Nr. 169. — [131] Barus, Subsidence of fine solid Particles in Liquids, U. S. G. S., 1887, Nr. 36. — [132] Thoulet, Expériences sur la sédimentation, A. M., (8) XIX, S. 35 ff. — [133] Weule, Ueber Sedimentbildung, N. G., I, S. 99 ff. — [134] Bliss, The apparent Forces between fine solid Particles totally immersed in Liquids, Ph. R., II, S. 421 ff. — [135] Ebenda, S. 259 ff. — [136] v. Richthofen, Führer für Forschungsreisende, Berlin 1886, S. 477 ff. — [137] Ebenda, S. 479. — [138] v. Richthofen, China; Ergebnisse eigener Reisen und darauf gegründeter Studien, II, Berlin 1882, S. 348 ff. — [139] v. Middendorff, Einblick in das Ferghana-Thal, St. Petersburg 1881. — [140] Günther, Ueber Entstehung und Altersbestimmung der Tropfsteingebilde, H. E., VII, S. 201 ff., 247 ff. — [141] v. Richthofen, S. 481 ff. — [142] Supan, Grundzüge der physischen Erdkunde, Leipzig 1896, S. 413 ff. — [143] A. v. Humboldt, Essay sur le gisement des roches dans les deux hémisphères, Paris 1823; deutsch von v. Leonhard, Strassburg i. E. 1824. — [144] Bruhns, A. v. Humboldt, eine wissenschaftliche Biographie, III, Leipzig 1872, S. 115 ff. — [145] v. Zittel, S. 3 ff. — [146] S. Reinach, Le musée de l'empereur Auguste, R. Ar., (3) IV, 1888. — [147] v. Zittel, S. 15 ff. — [148] Libri, Histoire des mathématiques en Italie, III, Paris 1840, S. 51; Lyell, a. a. O., I, S. 31. — [149] v. Zittel, S. 17. — [150] M. Cantor, Lionardo da Vinci, W. M., (3) XII, S. 375. — [151] B. Palissy, Discours admirables de la nature des eaux et fontaines, des métaux, des sels et salines, des pierres, des terres, Paris 1580. — [152] Günther, Paläontologie und physische Geographie in ihrer geschichtlichen Wechselwirkung, V. 65. N. G., I, S. 117 ff. — [153] v. Buch, Ueber das Fortschreiten der Bildungen in der Natur, Berlin 1806. — [154] Lhwyd, Lithopylacii britannici iconographia, Oxford 1669. — [155] R. Wolf, Biographien zur Kulturgeschichte der Schweiz, I, Zürich 1858, S. 210 ff. — [156] J. J. Baier, Oryctographia norica sive rerum fossilium et ad minerale regnum pertinentium, in territorio Norimbergensi ejusque vicinia observatorum succincta descriptio, Nürnberg 1708; Günther, Der Begründer der fränkischen Geognosie und Landeskunde, Bd. I, S. 53 ff. — [157] Koken, Die Vorwelt und ihre Entwicklungsgeschichte, Leipzig 1893, S. 348 ff. — [158] Goethe, Werke, XXI, S. 250; XXII, S. 45; Hederich, Goethe und die physikalische Geographie, S. 85 ff. — [159] Vallisnieri, Dei corpi marini che sui monti si trovano, Venedig 1721; v. Zittel, S. 41. — [160] Ebenda, S. 45. — [161] v. Born, Zufällige Gedanken über die Anwendung der Konchylien- und Petrefaktenkunde auf die physikalische Erdbeschreibung, A. P. B., IV, S. 305 ff. — [162] W. Smith, Tabular View of the British Strata, London 1801; English Strata identified by organic Remains, ebenda 1815. — [163] v. Schlotheim, Beiträge zur Flora der Vorwelt, Gotha 1804. — [164] Link, Die Urwelt und das Altertum, erläutert durch die Naturkunde, Berlin 1820—22. — [165] v. Schlotheim, Die Petrefaktenkunde auf ihrem gegenwärtigen Standunkte (mit Nachträgen), Gotha 1820 bis 1823. — [166] Quenstedt, Handbuch der Petrefaktenkunde, Tübingen 1852; 3. Aufl. 1885; Petrefaktenkunde Deutschlands, Tübingen-Leipzig 1849—74. — [167] Bronn-Roemer, Lethaea geognostica, Stuttgart 1856; 4. Aufl. 1880. — [168] v. Zittel-Schimper-Schenk, Handbuch der Paläontologie, München 1876—93. — [169] H. Haas, Die Leitfossilien; Synopsis der geologisch wichtigsten Formen

des vorweltlichen Tier- und Pflanzenreiches, Leipzig 1887. — [170] Steinmann-Döderlein, Elemente der Paläontologie, Leipzig 1890. — [171] v. Zittel, Aus der Urzeit; Bilder aus der Schöpfungsgeschichte, München 1875; Grundzüge der Paläontologie (Paläozoologie), München-Leipzig 1895. — [172] Brongniart, Prodrome d'une histoire des végétaux fossiles, Paris 1828; Histoire des végétaux fossiles, ebenda 1828—37. — [173] Renault, Cours de botanique fossile, Paris 1881—85. — [174] Graf Solms-Laubach, Einleitung in die Phytopaläontologie, München 1887. — [175] A. Heim, Ueber das absolute Alter der Eiszeit, V. N. G. Z., XXXIX, 2. Heft. — [176] R. Wolf, Notizen zur schweizerischen Kulturgeschichte, Nr. 269. — [177] Rudzki, Ueber eine Methode, die Dauer der geologischen Zeit zu schätzen, P. G. M., XLI, S. 137 ff. — [178] Neumayr-Uhlig, II, S. 10. — [179] Günther, a. a. O., S. 120 ff. — [180] J. Walther, Einleitung in die Geologie als historische Wissenschaft; Beobachtungen über die Bildung der Gesteine und ihrer organischen Einschlüsse, Jena 1893. — [181] Ebenda, S. 9. — [182] Compte rendu de la 2me session du Congrès géologique internationale, Bologna 1882, S. 196 ff. — [183] Logan, On organic Remains in the Laurentian Rocks of Canada, A. J. S., XXXVII, S. 272 ff.; On new Specimens of Eozoon, Q. J. G. S., XXIII, S. 253 ff. — [184] O. Hahn, Das Eophyllum im Laurentian-Kalk von Kanada, A., LII, S. 561 ff. — [185] Moebius, Der Bau des Eozoon canadense, Pa., 1878, S. 175 ff. — [186] J. Roth, Ueber die Lehre vom Metromorphismus und die Entstehung der krystallinischen Schiefer, Berlin 1871. — [187] E. Kayser, a. a. O., II, S. 19 ff. — [188] v. Gümbel, Geologie von Bayern, Kassel 1894, S. 422 ff. — [189] E. Kayser, II, S. 111. — [190] v. Fritsch, a. a. O., S. XXIII; E. Kayser, II, S. 143. — [191] Füchsel, Historia terrae et maris ex historia Thuringiae per montium descriptionem erecta, Erfurt 1762; v. Zittel, S. 51 ff. — [192] Freiesleben, Geognostischer Beitrag zur Kenntnis des Kupferschiefergebirges, Freiberg 1807 bis 1815; v. Zittel, S. 120 ff. — [193] E. Kayser, II, S. 172. — [194] v. Alberti, Beitrag zu einer Monographie des Bunten Sandsteines, Muschelkalkes und Keupers und die Verbindung dieser Gebirge in einer Formation, Stuttgart 1834. — [195] v. Buch, Ueber den Jura in Deutschland, Berlin 1839. — [196] Quenstedt, Der Jura, Tübingen 1858. — [197] A. Oppel, Die Juraformation Englands, Frankreichs und des südwestlichen Deutschlands, Stuttgart 1858. — [198] D. Brauns, Der untere, mittlere und obere Jura im nordwestlichen Deutschland, Kassel-Braunschweig 1869—1874. — [199] Neumayr, Die geographische Verbreitung der Juraformation, Wien 1885; Neumayr-Uhlig, II, S. 205 ff. — [200] D'Orbigny, Paléontologie française, Paris 1840—1860. — [201] H. B. Geinitz, Das Quadersandsteingebirge oder Kreidegebirge in Deutschland, Freiberg 1849—1850. — [202] Omalius d'Halloy, Étendue géographique des terrains des environs de Paris, A. M., I, S. 231 ff.; v. Zittel, S. 152 ff.; Geikie, S. 221 ff. — [203] Beyrich, Die Konchylien des norddeutschen Tertiärgebirges, Berlin 1858—57. — [204] E. Kayser, II, S. 175; Neumayr-Uhlig, II, S. 175. — [205] E. Kayser, II, S. 195; Neumayr-Uhlig, II, S. 179 ff. — [206] E. Kayser, II, S. 238. — [207] A. Oppel, Die tithonische Etage, Z. d. G. G., XVII, S. 535 ff. — [208] Neumayr-Uhlig, II, S. 275 ff. — [209] Ebenda, II, S. 235. — [210] E. Kayser, II, S. 248 ff. — [211] Schlüter, Die Verteilung der Kephalopoden in der oberen Kreide Norddeutschlands, Z. d. G. G., XXVIII, S. 457 ff. — [212] M. Semper, Das paläothermale Problem, speziell die klimatischen Verhältnisse des Eozäns in Europa und im Polargebiete, Berlin-München 1896. — [213] Fricker, Antarktis, Berlin 1898, S. 215. — [214] E. Kayser, II, S. 176; Neumayr-Uhlig, II, S. 174 ff. — [215] J. Walther, Die Lebensweise der Meerestiere; Beobachtungen aus dem Leben der geologisch-wichtigen Tiere, Jena 1893. — [216] E. Kayser, II, S. 65, 109; Neumayr-Uhlig, II, S. 87 ff., 107 ff. — [217] E. Kayser, II, S. 44. — [218] Ebenda, II, S. 142, 167. — [219] Neumayr-Uhlig, II, S. 282. — [220] E. Fraas, a. a. O., S. 83. — [221] E. Kayser, II, S. 245 ff.; Neumayr-Uhlig, II, S. 229 ff. — [222] E. Kayser, II, S. 247; Neumayr-Uhlig, II, S. 237 ff.; Haas, a. a. O., S. 263 ff. — [223] Dames, Ueber Archäopteryx, P. Ab., II, S. 78 ff. — [224] E. Kayser, II, S. 286; Neumayr-Uhlig, II, S. 231. — [225] Faujas de la Fond, Histoire naturelle de la montagne de Saint Pierre, près Maestricht, Paris 1799. — [226] E. Kayser, II, S. 278, 286. — [227] Neumayr-Uhlig, II, S. 283. — [228] E. Kayser, II, S. 287 ff.; Neumayr-Uhlig, II, S. 285 ff.; Haas, S. 261 ff. — [229] Ebenda, S. 267. — [230] Neumayr-Uhlig, II, S. 373 ff. — [231] v. Zittel, Die geologische Entwicklung, Herkunft und Verbreitung der Säugetiere, S. A. M., M. P., 1893, S. 137 ff. — [232] Neumayr-Uhlig, II, S. 342 ff.; Bölsche, Entwicklungsgeschichte der Natur, II, Neudamm 1896, S. 662 ff. — [233] Neumayr-Uhlig, II, S. 448. — [234] Nehring, Die quaternären Faunen von Thiede und Westeregeln, Braunschweig 1878; Ueber Tundren und Steppen der Jetzt- und Vorzeit, mit besonderer Berücksichtigung ihrer Fauna, Berlin 1890. — [235] Penck, Die Vergletscherung der deutschen Alpen, ihre Ursachen, periodische Wiederkehr und ihr Einfluss auf die Bodengestaltung, Leipzig 1882, S. 219 ff., 239 ff., 452 ff. — [236] Heer, Die Urwelt der Schweiz, Zürich 1879, S. 571 ff. — [237] Nehring, Eine diluviale Wald- und Sumpfflora aus der Gegend von Kottbus, A., LXV, S. 305 ff. — [238] Penck, Der Mensch und die Eiszeit, Archiv für Anth., XV, S. 211 ff. — [239] Ameghino, Contribucion al comincimiento de las Mamiferas de la Républica Argentina, Buenos Aires 1889 (A. A. N. C. C., VI). — [240] Bölsche, a. a. O., II, S. 606. — [241] J. Ranke, Der Mensch, II, Leipzig-Wien, 1894, S. 502 ff. — [242] R. Hartmann, Die menschenähnlichen Affen und ihre Organisation im Vergleiche zur menschlichen, Leipzig 1883. — [243] E. Dubois, Pithecanthropus erectus, eine menschenähnliche Uebergangsform aus Java, Batavia 1894. — [244] Verhandlungen der Berliner Gesellschaft für Anthropologie, Ethnologie und Urgeschichte, Sitzung vom 19. Januar 1895. — [245] Křiž, Die Höhlen im mährischen Devonkalk und ihre Vorzeit, J. G. R. A. W., XLI, S. 443 ff.; XLII, S. 463 ff.; Die Lösslager von Předmost bei Prerau, M. A. G. W., XXIV, S. 40 ff.; Ueber die Gleichzeitigkeit des Menschen mit dem Mammut in Mähren, K. G. A. E. U., 1894, S. 139 ff. — [246] Woldřich, Reste diluvialer Formen und des Menschen im Waldviertel Oesterreichs, Wien 1893. — [247] Makowsky, Ueber den diluvialen Löss von Mähren und seine Einschlüsse an Ueberresten von Menschen und Tieren, V. 66. N. V., II, 1, S. 215 ff. — [248] Boucher de Perthes, De l'homme antédiluvien et de ses oeuvres, Paris 1860. — [249] J. Lubbock, Prehistoric Times, as illustrated by ancient Remains, and the Manners and Customs of modern Savages, London 1865; deutsch von Passow, Jena 1873—74. — [250] Ratzel, Die Vorgeschichte des europäischen Menschen, München 1874. — [251] Boyd Dawkins, Das Alter des Menschengeschlechtes, G., XVIII, S. 728 ff. — [252] De Nadaillac-Schlösser-Seler, Die ersten Menschen und die prähistorischen Zeiten, mit besonderer Berücksichtigung der Ureinwohner Amerikas, Stuttgart 1884. — [253] M. Hoernes, Die Urgeschichte des Menschen, Wien 1893. — [254] M. Hoernes, Urgeschichte der Menschheit, Stuttgart 1895. — [255] Much, Die Kupferzeit in Europa und ihr Verhältnis zur Kultur der Indogermanen, Wien 1886. — [256] Woldřich, Ueber die Gliederung der anthropozoischen Formationsgruppen, mit Rücksicht auf die Kulturstufen des Menschen, Prag 1896. — [257] Lepsius, Ueber Gneis und Granit, N. V. E. D. (4), 15. Heft, S. 1 ff. — [258] O. Nordenskiöld, Ueber archäische Ergussgesteine aus Småland, B. G. J. U., I, S. 168 ff.; Ueber postarchäischen Granit vom Sulitelma in Norwegen, ebenda, II, S. 118 ff. — [259] Flurl, Beschreibung der Gebirge von Bayern und der obern Pfalz, München 1892. — [260] Neumayr-Uhlig, II, S. 183. — [261] v. Gümbel, Geognostische Beschreibung der bayerischen Alpen, Gotha 1861. — [262] v. Hauer

Die Geologie und ihre Anwendung auf die Bodenbeschaffenheit der österreichisch-ungarischen Monarchie, Wien 1878. — [263] Rothpletz, Das Karwendelgebirge, München 1888. — [264] Neumayr-Uhlig, II, S. 491 ff. — [265] v. Gümbel, Geol. von Bayern, S. 49 ff. — [266] Werner, Neue Theorie über die Entstehung der Gänge, Freiberg 1791. — [267] Freiesleben, Die sächsischen Erzgänge in einer vorläufigen Aufstellung ihrer Formationen, M. O. S., 1. Extraheft. — [268] Ebenda, S. V. — [269] Sandberger, Untersuchungen über Erzgänge, I, Wiesbaden 1882; II, ebenda 1885. — [270] Ebenda, I, S. 36. — [271] Reyer, a. a. O., S. 157 ff. — [272] Pošepny, Geologische und montanistische Studien über die Erzlagerstätten von Rézbánya, Budapest 1874. — [273] v. Cotta, Die Lehre von den Erzlagerstätten, Freiberg 1859—61. — [274] v. Groddeck, Die Lehre von den Lagerstätten der Erze, Leipzig 1879. — [275] v. Richthofen, Ueber das Alter der goldführenden Gänge und der von jenen durchsetzten Gesteine, Z. d. G. G., XXI, S. 723 ff. — [276] Schmeisser, Die Goldlagerstätten und der gegenwärtige Stand des Goldbergbaus in Australien, Berlin 1897. — [277] Greim, Die geologische Geschichte des australischen Festlandes, Gl. LXVIII, S. 33 ff. — [278] Futterer, Afrika in seiner Bedeutung für die Goldproduktion in Vergangenheit, Gegenwart und Zukunft, Berlin 1895. — [279] B. Foerster, Die geologischen Verhältnisse bei Witwatersrand und die Zukunft der Goldfelder, A., LXVI, S. 95. — [280] F. S. Wild, Recueil concernant les mines de sel et les salines, particulièrement celles du canton de Berne, Bern 1792—1795; Essai sur la montagne salifère du gouvernement d'Aigle, Genf 1788. — [281] Bruhns, a. a. O., III, S. 109. — [282] Schleiden, Das Salz, seine Geschichte, seine Symbolik und seine Bedeutung im Menschenleben, Leipzig 1875, S. 137 ff. — [283] Precht, Die Salzindustrie von Stassfurt und Umgegend, Stassfurt 1886; Kralič, Die Verbreitung des Stein- und Kalisalzlagers in Norddeutschland, Magdeburg 1894. — [284] E. Pfeiffer, Bildung der Salzlager mit besonderer Berücksichtigung der Stassfurter Salzlager, A. Ph., XI, S. 81 ff. — [285] Endriss, Die Steinsalzformation im mittleren Muschelkalk Württembergs, Stuttgart 1899. — [286] Neumayr-Uhlig, II, S. 562. — [287] Zincken, Die Physiographie der Braunkohle, Hannover 1867. — [288] v. Richthofen, China, II, S. 333 ff. — [289] Goetz, Geographisch-historisches Handbuch von Bayern, I, München 1895, S. 660 ff. — [290] Ebenda, I, S. 489. — [291] Neumayr-Uhlig, II, S. 142 ff. — [292] Ebenda, II, S. 148. — [293] Ochsenius, Ueber die Bildung von Kohlenflözen, Z. d. G. G., XLIV, S. 84 ff. — [294] E. Braun, Die Humussäure in ihrer Beziehung zur Entstehung der festen fossilen Brennstoffe und zur Waldvegetation, Darmstadt 1893. — [295] Neumayr-Uhlig, II, S. 560. — [296] Ebenda, II, S. 566. — [297] Früh, Ueber Torf und Dopplerit, Zürich 1883. — [298] Th. Geiger, Konrad Celtis in seinen Beziehungen zur Geographie, München 1896 (M. G. St., II), S. 29. — [299] Klebs, Der Bernstein und seine Geschichte, Königsberg i. Pr. 1889. — [300] Stoppani, L'ambra nella storia e nella geologia con speciale riguardo agli antichi popoli d'Italia nei loro rapporti colle origini e collo svolgimento della civiltà in Europa, Mailand 1886. — [301] Conwentz, Monographie der baltischen Bernsteinbäume, Danzig 1890. — [302] F. S. Bock, Versuch einer kurzen Naturgeschichte des preussischen Bernsteins und einer neuen, wahrscheinlichen Erklärung seines Ursprungs, Königsberg i. Pr. 1767. — [303] Klebs, Die Gasteropoden des Bernsteins, Fellin 1886. — [304] Neumayr-Uhlig, II, S. 584. — [305] Rivius, Vitruvius, des allernamhafftigisten und hocherfarensten, römischen Architect, unnd künstreichen Werck oder Bawmeysters, Marci Vitruvij Pollionis, zehen Bücher von der Architectur und künstlichen Bawen, Basel 1576, S. DXLII. — [306] B. Stern, Ein Besuch an den Naphthaquellen auf Apscheron, A., LXV, S. 713 ff., 731 ff., 745 ff. — [307] v. Gümbel, Geol. von Bayern, S. 169 ff. — [308] C. Engler, Zur Bildung des Erdöles, B. d. c. G., 1888, S. 1816 ff. — [309] v. Werveke, Die Entstehung des Erdöles, Z. p. G., 1895, S. 346 ff. — [310] H. Hoefer, Das Erdöl und seine Verwandten, Braunschweig 1888. — [311] Zincken, Geologische Horizonte der fossilen Kohlen, Leipzig 1883, S. 121 ff. — [312] Heusler, Theorie der Erdölbildung, N. G. W. G., 1896, Heft 1—3. — [313] Ochsenius, Zur Entstehung des Erdöles, Chz., XX, Nr. 39. — [314] Neumayr-Uhlig, II, S. 583 ff. — [315] v. Fritsch, S. 200. — [316] Fortin, Une plaine de bitume au Venézuela, C. R. S. S. G., 1895, S. 221 ff. — [317] Ehrenberg, Die Bildung der europäischen, libyschen und arabischen Kreidefelsen und des Kreidemergels aus mikroskopischen Organismen, Leipzig 1839; Ueber die Bildung sämtlicher Felsen beider Nilufer aus den mikroskopischen Kalktierchen der europäischen Kreiden, S. A. B., 1839, S. 26 ff.; Grosse, bisher unbekannte Verbreitung des mikroskopischen Lebens als Felsmassen im zentralen Nordamerika und im westlichen Asien, ebenda, 1842, S. 187 ff.; Mikrogeologie, das Erden und Felsen schaffende Wirken des unsichtbar kleinen selbständigen Lebens auf der Erde, Leipzig 1854. — [318] Laue, C. G. Ehrenberg, ein Vertreter deutscher Naturforschung im XIX. Jahrhundert, Berlin 1895, S. 206 ff.; Günther, C. G. Ehrenberg und die wissenschaftliche Erdkunde, D. R. G. St., XVII, S. 529 ff. — [319] Kollmann, Ueber die Bildung von Sedimenten und Erdschichten durch mikroskopisch kleine Organismen, J. G. G. M., I, S. 37 ff. — [320] Laue, a. a. O., S. 220. — [321] Ehrenberg, Passatstaub und Blutregen; ein grosses organisches, unsichtbares Leben in der Atmosphäre, Leipzig 1849. — [322] Neumayr-Uhlig, II, S. 656 ff. — [323] Ebenda, II, S. 658. — [324] v. Fritsch, S. 198. — [325] Meyn, Die natürlichen Phosphate, Leipzig 1873. — [326] Die Salzwüste Atacama, P. G. M., XXV, S. 301 ff. — [327] Harding, The Dessert of Atacama (Bolivia), J. R. G. S., 1877, S. 252 ff. — [328] D. Forbes, Report on the Geology of South-America, I, London 1861. — [329] Pissis, Salpêtres et Gouanos désert du d'Atacama, St. Denis 1877. — [330] Ochsenius, Chile, Land und Leute, Leipzig-Prag 1884, S. 64. — [331] Neumayr-Uhlig, II, S. 666. — [332] Lister, An ingenious Proposal for a new Sort of Maps of Countries, with Tables of Sands and Clays, such chiefly as are found in the North Parts of England, drawn up about 10 Years since, P. T., 1683, S. 1 ff. — [333] v. Zittel, S. 53. — [334] W. v. Charpentier, Mineralogische Geographie der kursächsischen Lande, Leipzig 1778. — [335] Guettard, Mémoire et carte minéralogique sur la nature et la situation des terrains, qui traversent la France et l'Angleterre, M. A. P., 1751 (46), S. 363 ff. — [336] Geikie, S. 18 ff.; v. Zittel, S. 56. — [337] Peschel-Ruge, Geschichte der Erdkunde bis auf A. v. Humboldt und C. Ritter, München 1877, S. 715 ff. — [338] Keferstein, Deutschland, geognostisch-geologisch dargestellt, Weimar 1821. — [339] Hederich, S. 58 ff. — [340] Ebenda, S. 41. — [341] Lepsius, Geologie von Deutschland und den angrenzenden Gebieten, I, Stuttgart 1887—1892; Rothpletz, Besprechung hiezu, A., LXVI, S. 127.

Kapitel II.

Morphographie und Morphometrie.

§. 1. **Kontinentalblock und Meeresbecken.** Die Verteilung des Wassers und Festlandes auf der Erdoberfläche ist keine ganz zufällige. Ueber das numerische Verhältnis beider Bestandteile haben wir uns schon früher (S. 380) ausgesprochen; nunmehr stellen wir die Frage, ob in der Anordnung der Meere und Kontinente eine gewisse Gesetzmässigkeit erkennbar ist. Das scheint, wie eine aufmerksame Betrachtung der Erdkarte lehrt, in der That der Fall zu sein. Die Inseln treten, von vereinzelten Ausnahmen abgesehen, gesellig auf, und wenn wir von den kleineren überhaupt Abstand nehmen, die grösseren aber dem Kontinente zurechnen, von welchem sie nicht weit entfernt sind, so kann man sagen: Aus dem zusammenhängenden Meeresbecken der Ozeane taucht ein gewaltiger Kontinentalblock empor, der sich im Norden ringförmig um die Polarzone herumlegt, gegen Süden aber in drei grosse Lappen ausläuft.

Die gestaltlichen Beziehungen des Kontinentalblockes hat Penck [1] zum Gegenstande einer eingehenden Untersuchung gemacht, welche für das Folgende vielfach massgebend wurde. Ueberhaupt ist in dem gross angelegten Werke des genannten Autors das gestaltliche Moment so eingehend, und auch zumeist so sehr unter neuen Gesichtspunkten, behandelt, dass stete Rücksichtnahme auf jenes im vorliegenden Kapitel sich von selbst gebietet.

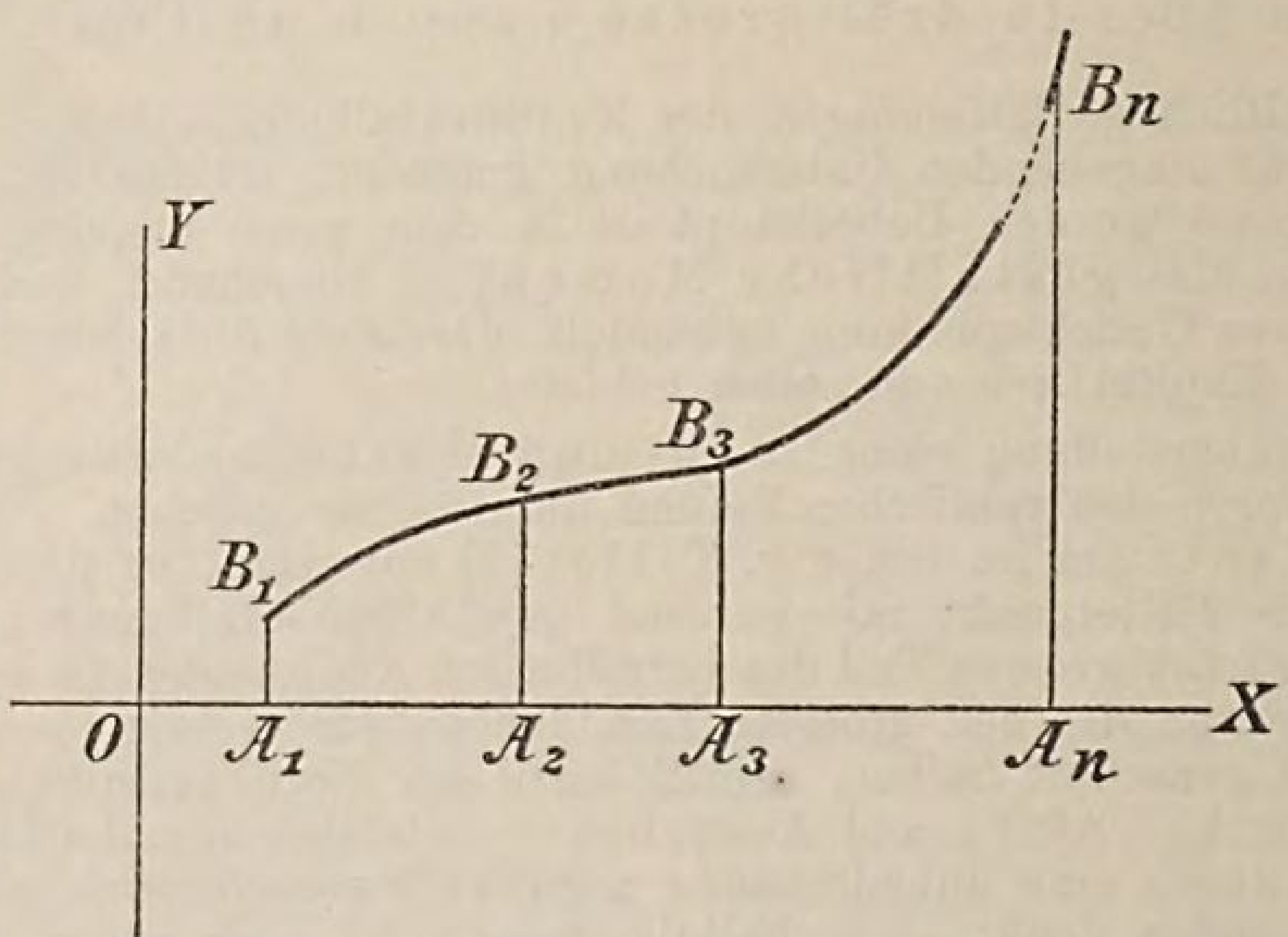
Die Gegenüberstellung einer Land- und Wasserhalbkugel ist, wie wir sahen (S. 381), durch den faktischen Befund unmittelbar gegeben. Will man jeder Landfeste ein Zentrum im Sinne v. Tillos [2] zuweisen, so dass also ein um diesen Punkt als Mittelpunkt mit passend gewähltem Halbmesser beschriebener Kreis einen möglichst grossen Teil des betreffenden Kontinentes zu umfassen hätte, so liegen die Zentren der den grössten Landflächen einbeschriebenen Kreise, eben der erwähnten Eigenschaft halber, sämtlich auf der Nordhemisphäre. — Der Umstand, dass Amerika, Afrika und Australien — letzteres zumal dann, wenn man sich Tasmanien durch eine unbedeutende negative Strandverschiebung (S. 560) mit Neuholland verbunden denkt — verhältnismässig spitz nach Süden zulaufen, stellt nach Peschels Definition [3] eine geographische Homologie (gesetzmässiges Uebereinstimmen) dar und ist deshalb schon häufig das Ziel von Erklärungsversuchen gewesen, über welche Penck [4] zusammenfassend berichtet, allerdings mit der Zusatzbemerkung, dass solche Spekulationen wenig aussichtsvoll sind, wenn sie nicht zugleich den vertikalen Bau und die innere Struktur der Lithosphäre mit in Rechnung ziehen. Peschel berichtet [5]: „Lord Bacon bezeichnete schon die Südspitzen Afrikas und Südamerikas als homologe Bildungen („similitudines physicae in configuratione mundi“); dann erkannte F. R. Forster die Aehnlichkeit Australiens mit den beiden anderen Kontinenten.“ Auch was Steffens [6], Karpinsky [7], K. Schröder [8], A. Boué [9] u. a. über das Vorwalten geometrischer Normen in der Gestalt der Landumrisse geschrieben haben, geht über den Wert einer an sich ja ganz hübschen, aber doch eben das Wesen geistreicher Spielerei tragenden Betrachtung nicht hinaus. Am eifrigsten hat sich wohl Ullrich [10] bemüht, Homologien aller Art zwischen Alter und Neuer Welt ausfindig zu machen, allein die geographische Wissenschaft weiss mit den gefundenen Sätzen, dass z. B. die Hudsons-Bay als amerikanische Nordsee zu gelten habe [11], wenig anzufangen. Auch kausal hat man die Gestalt der Festländer zu begreifen versucht; Weinberg hat [12], die älteren Anschauungen von Forster (s. o.) und Pallas [13] wieder aufnehmend, eine gigantische Flutwelle für die Herausbildung der dreispitzigen Gestalt des Kontinentalblockes verantwortlich gemacht, wie auch bei Reichenbach [14] Meeresströmungen eine grosse Rolle spielen. Dorr [15] dagegen führt alles auf ein die Erdrinde durchsetzendes Sprungsystem zurück, was freilich, wie Kirchhoff zeigte [16], zu

unseren jetzigen Ansichten über Gebirgsbildung nicht recht passen will. Nahezu alle diese Erörterungen leiden an einem gemeinsamen Gebrechen: Es wird zu viel Gewicht gelegt auf die aktuelle Grenzlinie zwischen festem und flüssigem Elemente, während doch eine nicht einmal sehr erhebliche Verschiebung der Küstenlinie nach oben oder unten ein anderes Bild und damit auch die Notwendigkeit einer ganz anders beschaffenen Erklärung nach sich ziehen würde.

Wie heute die Dinge liegen, thut man besser, sich nicht auf die Lösung von Fragen einzulassen, zu deren Durchdringung uns alle Voraussetzungen fehlen. Die Gestalt des Kontinentalblockes ist einstweilen als Thatsache hinzunehmen und kann erst dann der Untersuchung unterworfen werden, wenn eine Fülle vorbereitender, geotektonischer Probleme ihre Erledigung gefunden hat.

§. 2. **Die hypso- und bathographische Kurve.** Als Grenze des — vom Kontinentalblocke wohl zu unterscheidenden — Festlandes und des

Fig. 141.



Meeres haben wir für einen gegebenen Zeitraum die Strandlinie anzuerkennen, welche ja, wenn überhaupt, doch nur in sehr langsamer Bewegung auf- oder abwärts begriffen ist (Abt. VII, Kap. I), sich aber dabei im allgemeinen parallel bleibt. Mit Bezug auf diese Grenzlinie kann man sagen: Der Kontinentalblock strebt einerseits hoch empor, während andererseits das Meer tief absinkt. Um sich von dem Verhalten des dem Auge zugänglichen und verborgenen Teiles der Oberfläche der Lithosphäre im Einzelfalle eine zutreffende Vorstellung machen zu können, konstruiert man eine Linie, die für das Festland als hypsographische (ὕψος, Höhe), für den Meeresgrund als bathographische (βάθος, Tiefe) Kurve bezeichnet wird.

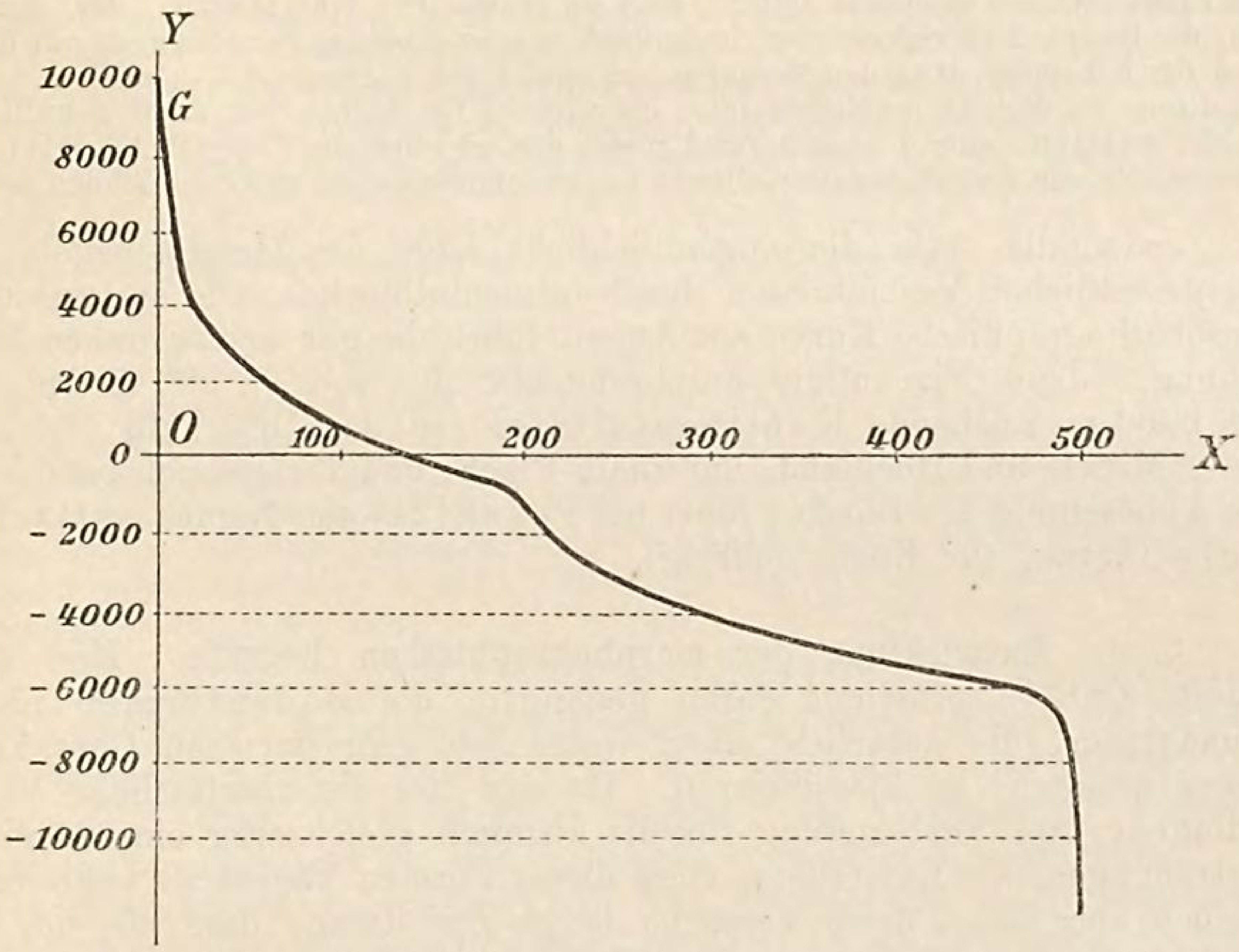
Die Konstruktion dieser krummen Linien, welche für alle metrischen Fragen sehr verwertbar sind, behandelt Penck [17] ausführlich. Man konstruiert für Land und Meer die Höhenkurven (I, S. 312), die sich somit bezüglich als Isohypsen und Isobathen darstellen, und misst die Höhen- und Tiefenstufen aus, d. h. die Areale, welche zwischen zwei konsekutiven Kurven dieser Art enthalten sind. Hiezu leistet ein Planimeter (I, S. 318) die besten Dienste. Sind $f_1, f_2 \ldots f_n$ die

erhaltenen Werte, so trägt man auf der X-Achse eines rechtwinkligen Koordinatensystemes X O·Y (Fig. 141) von O aus die Strecken OA_1, OA_2, $OA_3 \ldots OA_n$ auf, so dass die Proportion

$$OA_1 : OA_2 : \ldots : OA_n = f_1 : f_2 : \ldots : f_n$$

besteht, und errichtet in den so erhaltenen Abszissenpunkten Senkrechte. Falls die Niveaulinien gleichabständig waren, stehen die auf diesen Loten vom Fusspunkte aus abzutragenden Strecken in arithmetischer Progression; für gewöhnlich wird dies nicht der Fall sein, und diese Strecken A_1B_1, A_2B_2, $A_3B_3 \ldots A_nB_n$ sind durchweg den Höhen der entsprechenden Niveauflächen proportional, als deren Durchschnitte mit dem Terrain die Isohypsen und Isobathen auftreten. Indem man die Endpunkte der Ordinaten durch einen Zug verbindet, erhält man die fragliche Kurve, welche ein treues Bild vom Anstieg oder Abfall des Landes gewährt, so-

Fig. 142.



wohl wenn es sich um eine blosse Gebirgsgruppe, als auch um einen ganzen Festlandsblock handelt. Die Art der Krümmung der Kurve entspricht der Krümmung der Oberfläche insofern, als im Niveau eines Sattels, wenn also die vorher konkave Fläche konvex wird, eine Unterbrechung des normalen Verlaufes stattfindet.

In Fig. 142 sehen wir die von Penck [18] gezeichnete hypso-bathographische Kurve der Erdkruste vor uns. Dieselbe geht von einem Punkte G der Y-Achse aus, welcher der Gaurisankar-Spitze entspricht, und senkt sich anfänglich äusserst steil bis ungefähr zu einer Höhe von 2000 m, woraus folgt, dass der Kubikinhalt der zwischen den Niveaux von 8840 m und 2000 m enthaltenen Lithosphäre nur einen minimalen Bruchteil (nicht ganz 2 %) der ganzen darstellt. Die hier beginnende sanfte Neigung setzt sich noch unter Wasser fort, und erst etwa von — 200 m Höhe ab, also jenseits der Litoralzone (S. 409), wird der Abfall ein stärkerer, um sich aber bald wieder abzuflachen. Nahezu parallel zur Ordinatenachse verläuft die Kurve von — 6000 m ab. Man kann demgemäss mit H. R. Mill [19] eine Linie des mittleren Küstenniveaus („Mean Sphere Level") verzeichnen, welche, zwischen 2400 und 2500 m Tiefe gelegen, alle grösseren Landflächen zusammenhängend umzieht und alle Nebenmeere (S. 378), sowie auch die Mehrzahl der nicht eigentlich kontinentalen Inseln (S. 638) einschliesst. Es wird durch die

Konfiguration der Kurve auch die ursprünglich zunächst nach der Beschaffenheit des Grundes bemessene Abgrenzung der submarinen Küstenzone durch die Hundertfadenlinie im wesentlichen gerechtfertigt.

Diese Graphik gewährt jedoch noch einen weiteren Vorzug. Wenn man früher die Begriffe Hoch- und Tiefland definieren wollte, vermochte man über eine gewisse Willkürlichkeit niemals hinauszukommen. Verschiedene Autoren, die Penck [20] namentlich aufführt, wichen in ihren Festsetzungen nicht unbedeutend von einander ab, und K. F. Naumann [21] verzichtete deshalb ganz auf die Möglichkeit, eine befriedigende Begriffsbestimmung zu erhalten. Die geographische Didaktik, welche einer solchen nicht wohl entraten kann, beruhigte sich bei den Vorschlägen von Letoschek [22] und R. Lehmann [23]: Was sich über 500 m erhebt, wird als Hochland betrachtet, während dem Tieflande die Höhendistanz 0 m bis 200 m angehört. Dann bleibt freilich eine 300 m betragende Differenz, und für die hieher entfallenden Oberflächenteile mangelt uns die passende Bezeichnung. „Wie wir jene Mittelstufe mit einem guten und runden Namen benennen sollen", sagt an jenem Orte Lehmann, „der, worin eben die Hauptschwierigkeit liegt, möglichst wie jene beiden Benennungen nur den Grad der Erhebung über den Meeresspiegel und nicht zugleich die speziellere Ausgestaltung des Reliefs bezeichnet, also ebensowohl für flaches, nur sanft gewelltes, wie für hügeliges oder bergiges Land passt, das ist eben die Frage." Als Mittelland würde die Zwischenstufe vielleicht am zweckmässigsten zu kennzeichnen sein.

Jedenfalls steht die augenblickliche Lage des Meeresspiegels zu den gestaltlichen Verhältnissen des Kontinentalblockes, wie sie uns die hypsobathographische Kurve vor Augen führt, in gar keiner nahen Beziehung. Jene Niveaulinie durchschneidet die von — 200 m bis zu fast 9000 m reichende Kontinentaltafel, so dass oberhalb ersterer Tief-, Mittel- und Hochland, unterhalb Flach- und Tiefsee sich befinden. Die Abböschung des Blockes führt bei Penck [24] den Namen aktische Stufe (ἄκτιος, zur Küste gehörig).

§. 3. **Entwicklung der morphographischen Begriffe.** Erst die neueste Zeit ist ernsthaft daran gegangen, die Bodenformen nach Grundsätzen, die natürlich einen wesentlich geometrischen Charakter tragen mussten, zu klassifizieren. Es war dies die unerlässliche Vorbedingung und Vorbereitung für die ziemlich gleichzeitig einsetzenden Bestrebungen, die Entstehung eben dieser Formen kausal zu begreifen. Freilich aber litten diese Versuche lange Zeit daran, dass sie viel zu schablonenhaft ausfielen; ein Vorhalt, der selbst der in ihrer Art vortrefflichen Arbeit v. Sonklars [25], mit welcher sich jede morphologische Studie abfinden muss, nicht völlig erspart bleiben kann.

Das Altertum hatte wenig Sinn für das, was wir heute Bodenkonfiguration nennen. Wenn Eratosthenes, teilweise älteren Mustern folgend, ein 3000 Stadien langes, von West nach Ost streichendes Längsgebirge als Grenze zwischen Süden und Norden der bewohnten Erde konstruierte [26], so that diese Scheidelinie (Diaphragma) der Natur einigermassen Gewalt an, obwohl gewisse physisch-geographische Erwägungen (I, S. 6) dieser Erdanschwellung immerhin zu einer gewissen Begründung dienen konnten. Im übrigen kümmerten sich Griechen und Römer, auf deren unentwickeltes Interesse für alle grossartigen Naturvorkommnisse schon zum öfteren hingewiesen wurde [27], um Gebirge nur insofern, als bei ihnen dogmatisch die Ueberzeugung feststand, grosse Flüsse müssten ihren Ursprung auf hohen Bergen haben. Unter diesem Gesichtspunkte hatten die fabelhaften Rhipäen, welche man im hohen Norden suchte, und auf denen man den Borysthenes und Tanais entspringen liess, eine hohe Bedeutung für die griechischen Geographen [28], und als zu Beginn des XVI. Jahrhunderts dieser Mythus durch Michow und Eck (I, S. 14) zerstört wurde [29], wollten die Zeitgenossen sich nur schwer von diesen kühnen Neuerern belehren lassen. — Unter den Arabern bekunden Albîrunî und Demitschki eine gewisse Neigung für

systematische Behandlung der Gebirge, ohne dass dadurch allerdings Peschels Ausspruch [30], man habe sich damals wenig um die Vertikalgliederung der Erdoberfläche gekümmert, eine Berichtigung zu erfahren brauchte. — Die mittelalterlichen Reisenden Ruysbroek und Odorico da Pordenone brachten manche Errungenschaft, indem man das Ansteigen des Festlandes gegen Zentralasien hin und die Höhenlage der dortigen Plateaux kennen lernte [31]. Doch blieben auch die Scholastiker und ihre unmittelbaren Nachfolger von einer wissenschaftlichen Gebirgskunde immer noch weit entfernt.

Die Notwendigkeit, die Beziehungen des strömenden Wassers zum umgebenden Terrain aufzuklären, veranlasste im XVIII. Jahrhundert eingehendere Beschäftigung mit der Oberflächengestalt. Unter den ersten Systematikern ist Buache [32] zu nennen, dem man allerdings eine erste Begriffsbestimmung des Wortes Plateau und eine schärfere Fixierung des Wortes Wasserscheide verdankt, der aber nicht nur durch seine „Meeresgebirge“ (S. 395), sondern auch dadurch eine falsche Richtung in der Formenlehre inaugurierte, dass auf ihn der Satz sich zurückleiten lässt: Wasserscheiden sind durchweg hohe Gebirge, und es genügt mithin, das hydrographische Netz eines Landes zu kennen, um auch die Gebirge in der Hauptsache richtig einzeichnen zu können. Dieser Irrtum hat, zumal da in manchen Einzelfällen die Thatsachen ihm nicht zu widersprechen scheinen, lange nachgewirkt, bis man sich überzeugte, dass die Bedeutung, welche man den die Flussgebiete trennenden Schwellen beigemessen hatte, recht oft nicht vorhanden war. Vorab F. Schultz, der [33] die europäischen Gebirgssysteme lediglich auf Grund einer Gewässerkarte festlegen zu können vermeinte, ist ein typisches Beispiel dieser Richtung, der jedoch die Mehrzahl der geographischen Schriftsteller des Aufklärungszeitalters huldigte. Otto [34], J. C. Zimmermann [35], v. Gomez [36] u. a. gehören hierher, und ein gleiches gilt für Desmarests Artikel „Géographie physique“ in der grossen Enzyklopädie. Nicht minder spiegelt sich bei Kant der Einfluss Buaches wieder, wenn er [37] Landrücken, Bassins und „Plattformen“ für die wichtigsten Bestimmungsstücke „bei der natürlichen Anlage des festen Landes“ erklärt. An den Anfang der gegen das Schema gerichteten Reaktion stellt Penck die Reisen von Pallas [38]; „und später haben namentlich Malte Brun, Humboldt und C. Ritter die Unabhängigkeit der Wasserscheiden von Gebirgen und Plateaux betont“.

Zumal das Verdienst A. v. Humboldts ist als ein sehr grosses zu bezeichnen. Ausgerüstet mit seltener Autopsie, welche in drei Erdteilen gewonnen war, darf er als der Begründer einer exakten Orographie (ὄρος, Berg) gefeiert werden, der insonderheit auch dem metrischen Elemente zu seinem Rechte zu verhelfen bemüht war. Ein nicht unbeträchtlicher Teil der uns heute geläufigen orographischen Nomenklatur ist ihm zu verdanken. Auch hat er im hohen Maſse anregend gewirkt, und mehrere mit ihm gleichzeitig lebende Autoren sind von ihm nachweislich in wohlthätigem Sinne beeinflusst worden. Die Fortschritte der Alpenkunde, deren litterarisches Erstlingswerk, von Schaubach [39], noch jetzt Achtung gebietend dasteht, haben dann auch die Orographie nicht unberührt gelassen, und wesentlich durch alpinistische Vorarbeiten [40] gelangte v. Sonklar zu jener begrifflichen Systematik, welche durch zwei Jahrzehnte ganz allgemein als normativ betrachtet wurde.

Die orographischen Arbeiten Humboldts [41] sind ihrer Mehrzahl nach zwar heute nicht mehr so bekannt, wie sie es beanspruchen dürften, aber zu ihrer Zeit ist eine sehr umfassende Anregung von ihnen ausgegangen. Insbesondere hat er auch durch seine Gebirgsprofile (I, S. 315) wesentlich dazu beigetragen, dass richtigere Ansichten über die Oberfläche der Erde weit verbreitet wurden. Dem, was er auf diesem Gebiete geleistet, hat Peschel in der von ihm bearbeiteten Abteilung der grossen Humboldt-Biographie volle Gerechtigkeit widerfahren lassen [42]. Gewiss steht mit diesem Anstosse, den der grosse Naturforscher gab, auch die vertsändnisvolle Behandlung der Gebirgsformen in Ebels Alpenwerk [43] und ebenso die erste eigentliche Reliefformenlehre in Verbindung, welche von

Boersch in Marburg herrührt [44] und kaum nach Gebühr bekannt geworden ist. Hier werden „Hochland“ und „Niederung“, „wesentliche“ und „unwesentliche“ Gebirgsteile scharf geschieden; was Rücken und Abfall, Fuss, Joch, Mulde, Platte u. s. w. ist, wird zu definieren versucht; schliesslich liefert der Verfasser eine Einteilung der Gebirge nach den Kriterien der Längenausdehnung, Durchschnittshöhe, Gestalt, Zusammenhang und Pflanzenbedeckung. Dass C. Ritter der Gebirgskunde grossen Wert beilegte und bei der Ziehung der ihm so sehr am Herzen liegenden „Vergleiche“ (I, S. 29) stets das oroplastische (plastisch = körperlich) Moment berücksichtigte, ist bekannt, wiewohl seine Parallelen, z. B. diejenige [45] zwischen Südamerika und dem indischen Dekhan, mitunter etwas gesucht erscheinen. — Auf die Mitwirkung der modernen Touristik und speziell Alpinistik bei der Vorbereitung einer schärfer betonenden und die landschaftliche Seite richtiger würdigenden Orographie kann kaum mit genügendem Nachdruck hingewiesen werden. Jeder Band der zahlreich vorhandenen alpinen Zeitschriften liefert Belege für unsere Behauptung. Einstweilen musste die formale Seite, die auch bei v. Barth-Pfaundler [46] und Waltenberger [47] die vorwiegende ist, hauptsächlich in den Vordergrund gestellt werden; die Folgezeit allerdings durfte sich, wie dies die biographische Skizze von Partsch [48] andeutet, dabei nicht beruhigen, sondern musste es als ihre Aufgabe erachten, die Morphographie als Basis für eine höher strebende Morphologie zu begründen.

Diesem höheren Zwecke dienen die ausführlichen Erörterungen über Bodenplastik, welche man v. Richthofen [49] und Penck [50] verdankt. Es kommt namentlich auch der Abschnitt der Bodenformenlehre in Betracht, welchen Penck zu dem bekannten Handbuche von Scobel geliefert hat [51]. Auf den Darlegungen dieser beiden Gelehrten beruht der Hauptsache nach auch der Inhalt unserer nächsten Paragraphen.

§. 4. **Ebene; Hügelland; Hohlformen; Gebirge.** Ein Stück der Landoberfläche, welche keine nennenswerten Höhenunterschiede aufweist, ist eine Ebene [52]. Sanfte Wellungen stören diesen Charakter nicht. Hochebenen und Tiefebenen sind äusserlich wenig verschieden und eben nur durch ihre Zugehörigkeit zum Hoch- oder Tieflande gekennzeichnet. Küstenebenen, wie sie in besonders ausgesprochener Weise der Pyrenäischen Halbinsel eigen sind, fallen durchweg sanft gegen den eigentlichen Strand hin ab. Ebenen mit tiefer eingeschnittenen Thalrissen nennt man Platten.

Eine scharfe morphographische Grenze zwischen Ebene und Platte ist kaum zu ziehen; wenigstens findet der Sprachgebrauch eine solche nicht leicht heraus [53]. Sowohl das rumänische Donaugebiet, wie auch die nordamerikanische Prairielandschaft, welch letztere sich als ein Aggregat tief durchfurchter Platten darstellt, sind keine Ebenen im strengen Wortsinne, obwohl sie allgemein als solche bezeichnet werden. Die physiognomische Eigenart der Ebene wird nicht sowohl durch die Bodenkonfiguration, die ja erwähntermassen der markanten Züge entbehrt, sondern vielmehr durch die Vegetationsentwicklung bestimmt [54]. Auf diesen wichtigen Punkt hat A. v. Humboldt [55] unsere Aufmerksamkeit gelenkt, der zwischen amerikanischen und asiatischen Ebenen die mannigfaltigsten Vergleiche zu ziehen gelernt hatte.

Eine dem Auge auffällige, jedoch in absolutem Maſse nicht besonders hervorragende Bodenanschwellung oder Erhebung von nicht sehr grosser Basis nennen wir Hügel, und wenn solche gesellig auftreten, entsteht eine Hügellandschaft [56]. Die Bildung der Hügel kann die denkbarst verschiedenartige sein, ohne dass deswegen der blosse Anblick der Landoberfläche einen Aufschluss über die genetischen Modalitäten zu liefern brauchte. Wir stellen das ursprüngliche Hügelland dem aufgesetzten gegenüber.

Im ersteren Falle hat man es lediglich mit einer Steigerung jener Bodenform zu thun, welche wir vorhin als gewellte Ebene kennen gelernt haben.

In der geognostischen Beschaffenheit weichen die Erhebungen von dem ihnen zur Grundlage dienenden flacheren Lande ganz und gar nicht ab. Anlässlich der Wüsten werden wir in Kap. V einen merkwürdigen Landschaftstypus dieser Art — den der sogenannten „Zeugen“ — kennen lernen. Anders dann, wenn das Material, aus welchem sich die Erhöhungen zusammensetzen, durch irgendwelche Agentien erst zu einer Zeit herbeigeführt wurde, als die Ebene, der die Hügel aufgesetzt wurden, bereits als solche bestand. Mit Penck [57] können wir Dünen (S. 615), Gletscherresiduen (s. u. in Kap. III und V), vulkanische Bildungen (I, S. 377) und Sinterkegel, wie sie (Kap. IV) aus Quellen abgesetzt werden, als Elemente einer solchen sekundären Hügellandschaft namhaft machen; auch tierische Arbeitsleistung trägt, wie gleichfalls Kap. V des näheren auszuführen haben wird, nicht selten dazu bei, in die Monotonie einer Ebene eine kräftige Abwechslung hineinzutragen.

Von den bisherigen Gestaltungen des Bodens galt als übereinstimmender Zug, dass ihre Krümmung — vom Erdmittelpunkte aus gesehen — wesentlich konkav war. Nunmehr treten wir an die Hohlformen heran, deren Krümmung als eine nach oben konkave zu bezeichnen ist. Den sich nur auf ein kleines Areal erstreckenden Hohlformen der Gebirgsgliederung hält v. Richthofen [58] die mächtigeren Hohlformen der Kontinentalgliederung entgegen; erstere sollen kurzweg als Thäler, letztere als Landsenken zusammengefasst werden.

Bei jedem ausgedehnteren Festlande gibt es zentrale und peripherische Regionen; erstere sind als Landsenken grossen Masstabes aufzufassen. Das innerhalb eines zentralen Gebietes fallende Regenwasser kann niemals zum Meere gelangen, sondern es sammelt sich, soweit es nicht verdunstet oder in den Boden eindringt, in Binnenseen und Sümpfen an, welche jedweder Entwässerung ermangeln. Dagegen fliesst die grosse Menge der auf ein peripherisches Gebiet entfallenden meteorischen Gewässer einem der Weltmeere zu. Am schärfsten prägt sich die Eigenart des Zentralgebietes aus in Innerasien, aber auch der grösste Teil von Iran, die „Punas“ der Anden, das „Great Basin“ von Nordamerika sind hier einzubeziehen. Natürlich würde die Kontur der Begrenzungslinie einer solchen Senke, welche wesentlich mit einer Hauptwasserscheide übereinstimmt, zu morphographischer Detailcharakteristik Anlass bieten können, auf die wir jedoch hier verzichten wollen.

Als Analogon zu den grossen Landsenken bietet sich, wenn wir uns auf kleinere Verhältnisse beschränken, jene geschlossene Hohlform dar, für welche von Penck [58] der Name Wanne in Vorschlag gebracht wurde. Eine solche Hohlform muss im allgemeinen einen tiefsten Punkt aufweisen, so dass, wenn man von diesem aus irgend eine Bewegung machen will, diese eine ansteigende sein wird. Im gewöhnlichen Leben unterscheidet man häufig nicht scharf genug zwischen Wannen und Thälern, während die Klassifikation und genetische Betrachtung dieser letzteren Hohlform eine der wichtigsten Aufgaben der physischen Erdkunde bildet.

Die südslavischen Sprachen z. B. bezeichnen die den Karstländern (vgl. unten in Kap. IV und V) eigentümlichen Wannenbildungen wahllos mit dem Namen Doline (Thälchen; von dól, Thal), weil eben alldort normale Thäler, wie sie in anderen Gebirgsgegenden die Regel bilden, nur ausnahmsweise vorkommen. Wie wenig scharf noch vor kurzem, und auch in wissenschaftlichen Werken, der Begriff des Thales gefasst zu werden pflegte, erläutert Penck [59] an drastischen Beispielen. Ein Thal ist unter allen Umständen dadurch ausgezeichnet, dass die Dimension der Länge gegenüber derjenigen der Breite beträchtlich vorwiegt. Je nachdem die Hauptrichtung eines Thales mit derjenigen, in welcher die Schichten der einschliessenden Gebirge streichen (S. 670), übereinstimmt oder aber ungefähr zu letzterer senkrecht verläuft, sprechen wir von einem

Längsthale (Longitudinalthale) oder Querthale (Transversalthale). Schmale Einschnitte, deren Boden wechselnde Gefällsverhältnisse erkennen lässt, werden wohl auch Thalungen genannt. Eine Durchkreuzung zweier verschiedener Thäler, so dass jedes von ihnen ungestört seinen Lauf fortsetzte, kommt so wenig vor wie ein Sichdurchkreuzen zweier Längsgebirge; wenn vielmehr verschiedene Thäler sich treffen, so vereinigen sie sich zu einem Hauptthale, und die Komponenten erscheinen dann als Thaläste. Ein besonders schöner Fall solcher Gabelung oder — bei bloss zwei Aesten — Zwieselung (Zwieselstein im Oetzthal) tritt uns im Zillerthal (südlich von Mayerhofen) entgegen. Verschiedene Thäler gruppieren sich überhaupt zu Thalsystemen, welche, je nachdem ihre sämtlichen Bestandteile dem nämlichen Typus oder Gesamtbilde sich unterordnen oder nicht, mit v. Richthofen [60] als homo- und heterotypisch unterschieden werden können. Das, was die alpine Terminologie als Thalschluss kennt, sollte richtiger Thalanfang heissen, weil doch hier jener Wasserlauf zumeist entspringt, mit dessen Existenz diejenige des Thales selbst in der grossen Mehrzahl der Fälle untrennbar verbunden ist. Nur blinde Thäler, wie sie den Karstgebieten eigen sind, besitzen [61] einen unteren Thalschluss, doch ist dann immer ein unterirdischer Ausgang vorhanden.

Die Ausdrücke Thalgehänge, Thalsohle (Thalboden), Gefälle des Thales sind zu bekannt, um eingehenderer Definition zu bedürfen. Ein — wenn auch noch so schmaler — Boden ist immer vorhanden, und es kommt nicht vor, dass die Gehänge in scharfer Kante aufeinandertreffen. Durch eine Sohle von relativ minimaler Breite zeichnet sich nach Pechuël-Lösche [62] das ganze Kongo-Gebiet aus, und auch im Allgäu [63], wie in Vorarlberg hat der Mangel eines breiteren Thalbodens dem Strassenbau viele Hindernisse bereitet. Dies gilt vorzüglich dann, wenn fliessendes Wasser die Sohle erfüllt; ein Wasserstrang ist ja gewöhnlich vorhanden, und Trockenthäler (S. 608) bilden eine Ausnahme. Nicht selten wird die Enge des Thales durch Thalweitungen oder Thalkessel unterbrochen (Oetzthal, Gasteiner Thal), die dann vielfach durch eigentliche Engen oder Klammen miteinander in Verbindung stehen. Der Engpass Kühtreien im oberen Oetzthal mag als klassischer Beleg dienen. Da solche Stellen von der Landesverteidigung mit Vorliebe zur Anlegung von Befestigungen gewählt werden, so gelten sie als Thalabschlüsse oder Klausen (claudere, schliessen; vergl. Chiavenna, Klausen in Tirol, die Ehrenberger Klause bei Reutte, die Bregenzer Klause am Boden-See, Chiusaforte im oberen Fellathal). Wenn, wie dies die Regel ist, die Thalweitungen in ihrer Meereshöhe namhaft verschieden sind, so ist der Ausdruck Thalstufe am Platze (Umhausener, Lengenfelder Stufe im Oetzthal). Die Thalgehänge brauchen nicht gleichmässig abzufallen, sie können auch terrassiert sein; alsdann führen die verhältnismässig ebenen Terrassenflächen besondere Namen. Der Neuspanier nennt sie Mesas [63] (Tische), der Bewohner der sächsischen Schweiz [64] Ebenheiten; letztere spielen in den Grenzkriegen, namentlich 1813, eine gewisse Rolle [65], weil nur auf ihnen grössere Truppenmassen zur Entfaltung kommen konnten. Loewl hat [66] die passende Bezeichnung Thalleisten gewählt. Eine der grossartigsten Leistenbildungen findet man im Unterinnthale (bei Hall), wo diese an die eigentlichen Gehänge sich anlehnenden, gut bevölkerten Zwischenhöhen von Alters her als Mittelgebirge bekannt sind [67]. Auf die morphographischen Unterschiede, welche die ungleiche Bauart der Thalleisten mit sich bringt, können wir uns an dieser Stelle noch nicht einlassen.

Der Gegensatz zwischen Haupt- und Nebenthal ist in der Orographie wesentlich der gleiche, den die Hydrographie zwischen Haupt- und Nebenfluss aufstellt (s. u. in Kap. IV). „Es gibt neben den Haupt- und Nebenthälern", wie Penck bemerkt [68], „noch untergeordnete Thäler, welche sich nur als Falten in den Gehängen der beiden ersteren darstellen und häufig als Flachthäler neben Tiefthälern erscheinen. Sie heissen in Schwaben Klingen, in den Alpen Runsen, Tobel, Rofla, Gräben, im Schweizer Jura Ruz, im Côte d'Or Combe, Gully in England und dem östlichen Nordamerika, Gulch im westlichen Nordamerika, Owrag an der Wolga." Von den Klingen, die der Württemberger teilweise auch Einschläge zubenennt, weist Hammer nach [69], dass sie im Schwarzwald und in der Rauhen Alb keineswegs das nämliche Bild gewähren, was natürlich mit der geognostischen Beschaffenheit des betreffenden Gebirges zusammenhängt.

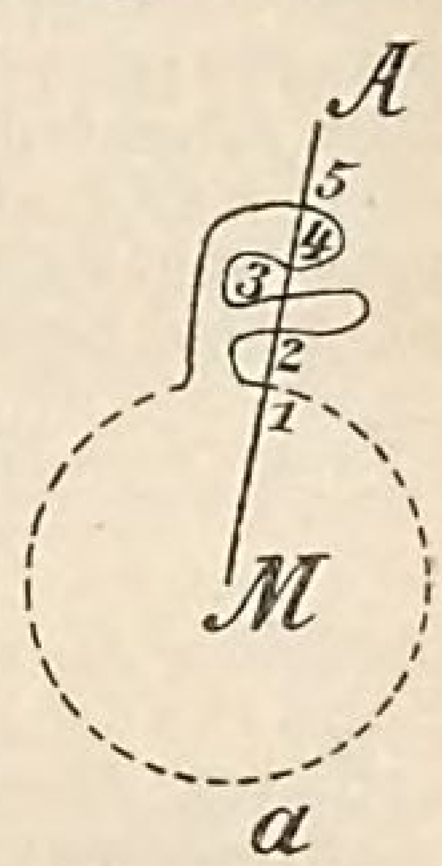
Die neuere Wissenschaft hat für die einzelnen Thalformen durchweg besondere Bezeichnungen aufgestellt; man kann sogar der Ansicht huldigen, dass in

der Verfeinerung der Nomenklatur neuerdings etwas zu viel des Guten geschehen sei. Jedenfalls werden dieselben mehrenteils erst dann verständlich, wenn man die Namenbildung morphologisch erklärt hat.

Eine für den Gesamtaufbau der Erdoberfläche allerdings nicht besonders belangreiche, an und für sich jedoch immerhin der Beachtung würdige Spezialität wird durch die überhängenden Formen und durch die Höhlungen gebildet. Auch ihnen hat innerhalb der Systematik zuerst Penck [70] ihr Recht angedeihen lassen.

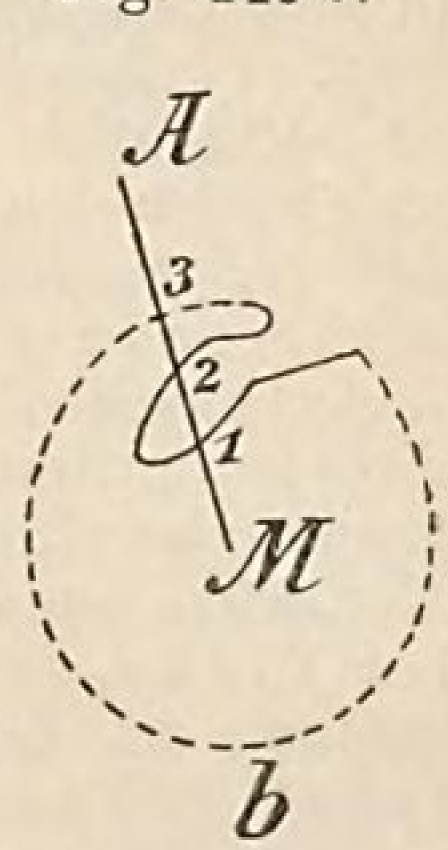
Eine jede gerade Linie, welche von dem Erdmittelpunkte M nach einem aussertellurischen Punkte A gezogen wird, durchschneidet die Landoberfläche durchweg nur in einem einzigen Punkte. Dann, wenn die Anzahl der Durchschnittspunkte gleich ($2n + 1$; $n = 0, 1, 2 \ldots$) ist, hat man es mit Ueberhängen zu thun; in Fig. 143a sind beispielsweise 5 Schnittpunkte ($n = 2$) vorhanden. Zwischen je 2 Vorsprüngen liegt eine Höhlung. Falls eine solche sich horizontal weit erstreckt, geht sie in eine Höhle über, wie sie Fig. 143b ($n = 1$) zur Darstellung bringt. Den Besonderheiten der Höhlen wird ein eigener Paragraph unseres V. Kapitels gewidmet werden.

Fig. 143a.



Ebene und Hügelland (s. o.) treten hinsichtlich ihres landschaftlichen Eindruckes weit zurück gegen die Gebirge, Konglomerate von Einzelbergen, Berggruppen, Thälern und Wannenlandschaften. Die Grenzlinie des Gebirgsabfalles gegen die benachbarten grösseren Ebenen ist der Gebirgsfuss, der freilich nur selten sich scharf abzeichnet (Untersberg bei Salzburg), gewöhnlich aber durch eine sich langsam abflachende Uebergangszone ersetzt erscheint [71]. Von den zahlreichen Klassifikationen der Gebirgsformen sei nur eine hier schon hervorgehoben, weil sie bereits auf der Karte und im Panorama (I, S. 332) sich in ihrer Eigenart zu erkennen gibt. Dies ist die Trennung aller Gebirge in Längs- oder Kettengebirge auf der einen, Massengebirge auf der anderen Seite.

Fig. 143b.



Diese Scheidung geht nach Penck [72] bereits auf die Wernersche Schule (S. 665) zurück, und auch Naumann [73] adoptierte dieselbe. Die äusseren Kriterien für die Entscheidung der Frage, welcher von beiden Kategorien ein bestimmtes Gebirge einzuverleiben sei, suchte C. Ritter [74] zu verschärfen. Wohl die beste neuere Studie hierüber rührt von Neumayr her, der sich den Schwarzwald und die Westalpen als Musterbeispiele ausersah, die erdgeschichtlichen Bestimmungsmomente aber, von denen er sich wenigstens zum Teile leiten liess, späterhin selbst nicht mehr als absolut massgebend anerkannt wissen wollte [75]. In der That ist auch die Aufgabe einer rationellen Einteilung keine so einfache und leicht zu lösende, dass jeder auf den blossen Augenschein hin sie einwurfsfrei zu erledigen in der Lage wäre; wer z. B. vom Katharinenberge, einem beherrschenden Aussichtspunkte bei Wunsiedel, aus die Bestimmung des Fichtelgebirges vorzunehmen genötigt wäre, ohne sonst mit dessen wahrer Natur vertraut zu sein, der würde es ohne allen Zweifel als Kette auffassen, während es doch recht eigentlich ein Massiv oder, wie man auch sagt, ein Gebirgsknoten ist. Immerhin hat die Antithese eine hohe innere Berechtigung, die erst im morphologischen Schlussabschnitte klar hervortreten kann.

§. 5. **Orometrische Grundbegriffe und Methoden.** Wie schon erwähnt (S. 699), war es A. v. Humboldt, der, indem er von seinen Gebirgsprofilen (I, S. 315) ausging, zahlenmässige Ausdrücke für morphographische Charakterzüge eines Geländes herzuleiten

unternahm. Die stereometrische Geognosie, welche er begründete, beschränkte sich, wie dies für einen ersten Anfang wohl selbstverständlich war, allerdings auf einige wenige Grundbegriffe, aber auf ihnen konnte v. Sonklar (S. 699) weiterbauen, und die neueren zusammenfassenden Darstellungen, wie wir sie Peucker [76] und Penck [77] zu danken haben, beruhen auf der gleichen Grundlage. Auch darf der Geograph nicht übersehen, dass die Ingenieurwissenschaft ihrerseits schon viel früher jenen Zweig der Morphometrie, welchem speziell die approximative Kubatur zufällt, mit eigenen Mitteln ausgebildet hatte.

Von Humboldt rührt her der Begriff der Kammlinie, welche zunächst nur für Längsgebirge Anwendung findet; sie ist es, die aus der Ferne das Gebirge gegen das Firmament abgrenzt und, Ausnahmen vorbehalten, auch als Hauptwasserscheide eine Rolle spielt. Eine Verzeichnung derselben auf dem Papier lässt sowohl die Gipfel, als auch — in Gestalt relativer Ordinatenminima — die Einsattelungen (Sättel), Scharten, Joche, Pässe hervortreten. Sind m Gipfelhöhen $H_1, H_2 \ldots H_m$ und n Sattelhöhen $h_1, h_2 \ldots h_n$ vorhanden, so stellen die drei Ausdrücke

$$\frac{H_1 + \ldots + H_m + h_1 + \ldots + h_n}{m + n}, \quad \frac{H_1 + H_2 + \ldots + H_m}{m}, \quad \frac{h_1 + h_2 + \ldots + h_n}{n}$$

bezüglich die mittlere Kammhöhe, mittlere Gipfelhöhe und mittlere Schartung des Gebirgsprofiles vor. Solchergestalt konnte Humboldt die sehr auffällige Abweichung im Charakter der Alpen und Pyrenäen zahlenmässig veranschaulichen; erstere haben weit mehr hohe Einzelgipfel, sind aber nichtsdestoweniger weit wegsamer, weil ihre mittlere Schartung viel bedeutender ausfällt. Die Pyrenäen sind, ähnlich wie der Himálaya, eine schwer übersteigbare Gebirgsmauer, wie dies von Penck [78] des näheren ausgeführt worden ist.

Beim Strassen- und Eisenbahnbau muss man feststellen, welche Erdmassen auf- und abzutragen sind, und die entsprechende Massenberechnung (déblai und remblai im Französischen) wird deshalb in allen Fachlehrbüchern einlässlich behandelt [79]. Will man ohne grosse Genauigkeit rasch das Ziel erreichen, so betrachtet man die der Erdbewegung unterliegenden Körper als Prismen und Pyramiden oder auch als Prismatoide und bedient sich der bekannten Formeln der rechnenden Stereometrie. Eine zweite Methode ist (I, S. 318) die Planimetrierung des Flächenprofiles, und es kann endlich auch mit Hülfe des Amslerschen Integrators [80] (I, S. 318) der Kubikinhalt der Auf- und Abträge direkt ermittelt werden. Dass es dabei hauptsächlich auf die Konstruktion hypsographischer Kurven ankommt, leuchtet unmittelbar ein. Die neuen zeichnerischen Methoden wandte Culmann [81] auf den vorliegenden Fall an. Insonderheit aber hat Eickemeyer [82] das Verfahren, welches Bruckner zur graphischen Darstellung der bei einem Erdbauwerke bewegten Massen erfand, und dem v. Bauernfeind [83] den Namen Massennivellement beilegte, als ein generelles Kubierungsverfahren beschrieben und in seiner technischen Brauchbarkeit gewürdigt.

Es soll zunächst unsere Aufgabe sein, die morphometrischen Fundamentalbegriffe kennen zu lernen. Eine auf gegebener Niveaufläche basierende Erhöhung oder von ersterer begrenzte Bodeneinsenkung hat einen gewissen Basisumfang; die von der hiemit gekennzeichneten geschlossenen Kurve umschlossene Fläche ist auf ihren Inhalt (Basisfläche) und die stereometrische Form selbst, die als Berg oder Hohlgebilde erscheint, ist auf ihre Oberfläche zu prüfen. Endlich kann auch nach dem Volumen jener Form gefragt werden; es ist eine Kubatur zu vollziehen. Gewiss sind alle diese Berechnungen in der ungeheuren Mehrzahl der Fälle nur näherungsweise durchführbar, aber die Forderung ist an und für sich eine bestimmte, und es bedarf keiner besonderen Definitionen, um über die Art der Forderung

aufzuklären. Dagegen ist eine solche Begriffsbestimmung notwendig, wenn nach der mittleren Höhe, resp. mittleren Tiefe eines unregelmässig gegliederten — positiv aufragenden oder negativ versenkten — Körpers die Frage gestellt wird, und ein gleiches gilt von der mittleren Böschung einer Oberfläche. Die Hilfsmittel, deren sich die Morphometrie bedient, um ihr soeben kurz umschriebenes Programm zu erledigen, sollen im folgenden zur Besprechung gelangen, jedoch nur in dem beschränkten Umfange, den das Interesse vorzeichnet, welches die physikalische Geographie als solche an den in erster Linie doch rein geometrischen Untersuchungen dieser Art nimmt.

Ueber die Längen- und ebene Flächenmessung wurde schon früher (I, S. 316) gesprochen. Die körperliche Inhaltsberechnung kann auf verschiedene Weisen geleistet werden. Gesetzt, es liesse sich die — krumme oder gemischtflächige — Oberfläche in lauter ebene Polygone zerlegt denken, so würde man jede dieser Teilflächen auf den Horizont zu projizieren und dann den Satz von Rothe [84] anzuwenden haben: Der Inhalt eines jeden schief abgeschnittenen Prismas ist gleich dem Produkte aus der Grundfläche in jene Höhe, welche aus dem Schwerpunkte der Schnittfläche auf die Basis gefällt wird. Wenn wir die Stücke f, in welche die Grundfläche zerlegt wird, als gleich gross voraussetzen, so dass letztere gleich n f gesetzt werden kann, unter n eine ganze positive Zahl verstanden, so wird, falls $h_1, h_2 \ldots h_n$ die zugehörigen Schwerpunktshöhen sind, für das Volumen V diese Gleichung bestehen:

$$V = f h_1 + f h_2 + \ldots + f h_n = f(h_1 + h_2 + \ldots + h_n) = n f . \frac{h_1 + h_2 + \ldots + h_n}{n}.$$

Man kann auch mit Penck [85], indem man nur statt der abgekürzten Kegel bequemer abgekürzte Pyramiden verwendet, den auszumessenden Raum als eine Summe von Pyramidenstumpfen auffassen, deren Seitenflächen sich sämtlich im Mittelpunkte der Erde (Halbmesser r) durchschneiden müssen. Sind $G_1, G_2 \ldots G_n$ die n Teilflächen der Oberfläche, $g_1, g_2 \ldots g_n$ die entsprechenden Teilflächen der Grundfläche, so wird, wenn die h einen dem vorigen analogen Sinn haben,

$$V = \frac{1}{3} h_1 (\sqrt{G_1 g_1} + G_1 + g_1) + \frac{1}{3} h_2 (\sqrt{G_2 g_2} + G_2 + g_2) + \ldots$$
$$+ \frac{1}{3} h_n (\sqrt{G_n g_n} + G_n + g_n).$$

Wollte man, was freilich eine oft nicht unbeträchtliche Fehlerquelle bedingen würde, allgemein g = G setzen, so bekäme man, als entsprechende Erweiterung,

$$V = g_1 h_1 + g_2 h_2 + \ldots + g_n h_n,$$

und dies würde mit der von Penck abgeleiteten Formel

$$V = g_1 h_1 + g_2 h_2 + \ldots + g_n h_n + \frac{1}{r} (g_1 h_1^2 + g_2 h_2^2 + \ldots + g_n h_n^2)$$

übereinstimmen, sobald r als gegen den Klammerausdruck unendlich gross angenommen wird.

Ungleich näher kommt man der Wahrheit, wenn man Kořistkas [86] volumetrische Normen anwendet, die übrigens, wie Penck [87] dargethan hat, schon im XVIII. Jahrhundert eine bergmännische Antizipation gefunden hatte. Es handelt sich einfach darum, die bereits bekannte Simpsonsche Formel (I, S. 317) für die Volumetrie nutzbar zu machen. Nachdem neuerdings Elfert [88] auf die Verwertbarkeit jenes Flächenausmessungssatzes aufmerksam gemacht hatte, wurde von Leicher [89] der Gedanke an einem praktischen Beispiele erprobt. Wir müssen den Körper, dessen Inhalt es zu ermitteln gilt, durch eine Schar äquidistanter Schnittflächen in Teilkörper zerlegen, und für jedes solche Elementarstück gilt eben die von Simpson [90] entwickelte Formel. Natürlich konnte man mithin auch Vertikalschnitte (Profile) wählen, allein der üblichen Anschauung entspricht es jedenfalls weit mehr, wenn man als Schnitt-

linien Isohypsen (I, S. 313) verwendet. Es soll h die Distanz zweier Schnittflächen sein, deren Inhalte s_1 und s_3 sein mögen; im Abstande $^1/_2$ h von beiden ist eine dritte Schnittfläche s_2 durchgelegt, und alsdann ist $^1/_3$ h $(s_1 + 4s_2 + s_3)$ ein guter Näherungswert für das zwischen s_1 und s_3 enthaltene Körperstück. Im ganzen seien 2n Schichten zwischen den Grenzflächen s_1 und s_{2n+1} enthalten; dann führt abermalige Anwendung unserer Formel zu dem neuen Ausdrucke:

$$V = \frac{1}{3} h \left[s_1 + s_{2n+1} + 2\sum_{i=1}^{i=n-1} s_{2i+1} + 4\sum_{k=1}^{k=n} s_{2k} \right].$$

Wer sich für weitere Umgestaltungen dieser zumeist benützten Formel interessiert, sei auf die Studien von Penck [91] und Murray [92] hingewiesen. Als etwas Selbstverständliches muss man die Thatsache hinnehmen, dass in der Natur die Flächen nicht so einfach geometrisch gestaltet sind, wie die Simpsonsche Formel sie voraussetzen muss; ob es sich verlohnt, diesen aus den Umständen sich ergebenden Mangel durch ein besonderes Exhaustionsverfahren (I, S. 224) im Sinne Ricchieris [93] auszugleichen, das darf hier wohl dahingestellt bleiben; Peucker [94] kann sich von dessen Nutzen nicht überzeugen.

Es versteht sich, dass man auch in diesem Falle die Kubatur auf Quadraturen zurückzuführen vermag, sobald man die hypsographische Kurve (S. 697) entsprechend anwendet. Diese Vereinfachung wurde von Heiderich [95], C. Neumann [96] und v. Boehm [97] erprobt. Letzterer hat die Genauigkeit, welche eine solche Volumenbestimmung zu erreichen gestattet, als eine ziemlich grosse erkannt, wenigstens dann, wenn die erwähnte Kurve in regelmässiger Weise konvex gegen die beiden Achsen verläuft.

Von der Fläche, ab welcher die Volumina zu rechnen seien, ist bisher nicht ausdrücklich die Rede gewesen; es wurde einfach vorausgesetzt, dass diese Fläche eine horizontale sein soll. Bei v. Sonklar, dessen Verdienst (S. 698) auch um die Orometrie nicht geschmälert werden soll, wenn auch seine Vergleichung der Kettengebirge mit Prismen der Wirklichkeit zu wenig Rechnung trug [98], wurde zwischen dem eigentlichen Gebirge und seinem Sockel unterschieden, indem für diesen letzteren die nachstehende Definition [99] gelten sollte: „Unter dem Sockel des Gebirges verstehe ich jene im Meeresniveau beginnende, prismatische Erdmasse von horizontaler Oberfläche, auf welcher die Gebirgskämme als dreiseitige Prismen aufgesetzt sind.“ Die Kritik dieses Sockelbegriffes durch Brückner [100], L. Neumann [101] und Peucker [102] hat zu einer Klärung verholfen. Der letztere hat auch [103] das Wesen der Worte Kamm, Kammlinie, Schartung u. s. w. schärfer präzisiert, als dies bei den früheren orometrischen Bestrebungen geschehen war.

Wenn man den kubischen Inhalt eines massiven Körpers oder einer Hohlform kennt, so ist damit von selber auch, falls man das Areal der Basis ermittelt hat, die mittlere Höhe und mittlere Tiefe gegeben. Man erhält diese linearen Werte, wenn man mit dem Inhalte der Basisfläche in das Volumen dividiert. Der oben vorkommende Quotient $\frac{1}{n}(h_1 + h_2 + \ldots + h_n)$ wird sich der wahren Mittelhöhe oder Mitteltiefe um so mehr nähern, je grösser n ist. Wäre die begrenzende Fläche eine regelmässig-geometrische von der Gleichung $f(x, y) = z$, so wäre der Mittelwert sämtlicher auf die XY-Ebene bezogenen, der Z-Achse parallelen Ordinaten durch

$$\iiint f(x, y)\, dx\, dy\, dz : \iint \sqrt{1 + \left[\frac{\partial f(x, y)}{\partial x}\right]^2 + \left[\frac{\partial f(x, y)}{\partial y}\right]^2}\, dx\, dy$$

gegeben. Es muss übrigens daran erinnert werden, dass schon früher (S. 407) von den hier in Rede stehenden Formeln Gebrauch gemacht wurde. Die mittlere Meerestiefe wurde in dieser Weise gefunden.

Die wahre Flächengrösse eines Stückes einer irgendwie gekrümmten Oberfläche hängt, wie dies besonders von Finsterwalder [104] gezeigt worden ist, auf das innigste mit dem Betrage der Böschung zusammen. An und für sich ist dieser, wenn die Fläche als schief ansteigende Ebene betrachtet werden kann, gegeben durch die trigonometrische Tangente des Neigungswinkels [105]. Man überträgt unschwer diesen Begriff auch auf gekrümmte Flächen; will man für

irgend einen Punkt einer solchen die Böschung erhalten, so legt man eine Berührungsebene in ihm an die Fläche, welche mit der Horizontalebene den Winkel α einschliesst. Dann ist wiederum tang α das Mass der Böschung. Gehört zu einem irgendwie abgegrenzten Stück g der krummen Fläche die Horizontalprojektion G, und denkt man sich g in eine Summe von vielen kleinen Flächenstücken zerlegt, die $g_1, g_2 \ldots g_n$ heissen sollen, so kann man für jede derartige Parzelle ohne erheblichen Fehler einen Böschungsbetrag $\beta_1, \beta_2 \ldots \beta_n$ (= tang α_1, tang $\alpha_2 \ldots$ tang α_n) annehmen [106], und alsdann ist

$$B = \frac{1}{G}(\beta_1 g_1 + \beta_2 g_2 + \ldots + \beta_n g_n)$$

die sogenannte mittlere Böschung.

In dieser Form ist der Ausdruck der numerischen Auswertung nicht fähig; er wird dies aber durch eine von Finsterwalder (s. o.) und Peucker [107] unabhängig vorgenommene Umgestaltung. Lässt man nämlich — und für dicht gescharte Terrainkurven ist dies zulässig — den Anstieg zwischen zwei konsekutiven Isohypsen von h Vertikal- und d_i Horizontalabstand als gleichförmig gelten, so wird $\beta_i = h : d_i$. Sind ferner l_i und λ_i die Abschnitte der Isohypsen, welche das Flächenstück begrenzen, so wird $g_i = {}^1/_2\, d_i\, (l_i + \lambda_i)$ zu setzen sein, und wenn endlich noch die Längen der einzelnen Isohypsen durch $L_1, L_2 \ldots L_n$ bezeichnet werden, so folgt zum Schlusse:

$$B = \frac{h}{2G}(L_1 + [L_1 + L_2] + \ldots + [L_{n-1} + L_n] + L_n) = \frac{h}{G}(L_1 + L_2 + \ldots + L_n).$$

Man findet die mittlere Böschung, indem man in das Produkt aus der Höhenstufe und der Summe sämtlicher Isohypsen mit dem Areale der Horizontalprojektion hineindividiert. Das Produkt findet Finsterwalder durch Verzeichnung der — ein Analogon der hypso- und bathographischen Linie (S. 697) darstellenden — klinographischen Kurve (κλίνειν, geneigt sein). Die in arithmetischer Reihe wachsenden Höhen werden als Abszissen, die zugehörigen Längen als Ordinaten aufgetragen, und die Flächenräume zwischen Kurve, Abszisse und zwei Grenzordinaten entsprechen eben dem fraglichen Produkte. Die erwähnte Kurve verläuft im allgemeinen stetig, weist aber immer dann eine Knickung auf, wenn sie durch das Niveau einer Punktfolge hindurchgeht, welche durch Aenderungen des Krümmungsverhaltens der Fläche charakterisiert ist.

Nunmehr können wir weiter, falls von der Erdkrümmung abgesehen werden darf, und falls zum Flächenstücke g_1 die Horizontalprojektion G_1 gehört, $g_1 = G_1 : \cos \alpha_1 = G_1 \sec \alpha_1$ setzen. Dann ist also auch

$$g = G_1 \sec \alpha_1 + G_2 \sec \alpha_2 + \ldots + G_n \sec \alpha_n.$$

In den immerhin selteneren Fällen, welche darauf Bedacht zu nehmen nötigen, dass die Erde eine Kugel vom Radius r ist, wäre, unter H die Mittelhöhe verstanden, die Summe rechts noch mit der Grösse $(1 + 2H : r)$ zu multiplizieren. Flächenbestimmungen in diesem Sinne haben Brüch [108] und Kurowski [109] ausgeführt, während Beneš [110] zu gleichem Behufe ein rascher vorwärts helfendes und trotz minderer Genauigkeit doch ebenfalls recht brauchbares Ausmessungsverfahren angab. Nach Finsterwalder [111] ist letzteres anwendbar, wenn die einzelnen Böschungswinkel nicht über 20° wachsen, und wenn man sich also dessen erinnert, was früher (I, S. 311) über die grosse Seltenheit von wirklichen Steilabfällen im Terrain ausgesagt ward, so wird man mit der Ausglättungsmethode von Beneš in der grossen Mehrzahl der Fälle ganz gut auskommen.

Es leuchtet ein, dass an jeder Oberfläche, falls diese nicht eine ganz regelmässige Krümmung besitzt, Linien grösster und geringster Steilheit markiert werden können. Geometrische Untersuchungen hierüber liegen vor von Boussinesq [112] und Quidde [113]. Mit den räumlichen Beziehungen, welche, falls die Fläche nach oben konkav ist, die Kurven raschesten Wasserablaufes mit einer ausgezeichneten Terrainlinie des Hohlraumes verknüpfen, haben sich, ohne ihre Definitionen zu völliger Uebereinstimmung bringen zu können,

ebenfalls Boussinesq [114] und C. Jordan [115] beschäftigt. Diese Linie führt auch in der französischen Sprache den Namen Thalweg („le thalweg"); mit ihrer hydrographischen Bedeutung wird sich unser IV. Kapitel zu befassen haben.

Nach Massgabe der vorstehend entwickelten Formeln, die dann eine den besonderen Umständen entsprechende Modifikation und auch Bereicherung erfahren haben, sind nun verschiedene Gebirge und Einzelberge, und zwar beinahe ausschliesslich von deutschen Schriftstellern, morphometrisch behandelt worden. Wir führen, ohne damit auf erschöpfende Aufzählung Anspruch erheben zu wollen, an, dass Commenda [116] das oberösterreichische Hügelland, Führnkranz [117] und Gsaller [118] Teile der Alpen, Grissinger [119] die Tatragruppe, Stange [120] und B. Fiedler [121] den Thüringer Wald, Burgkhardt [122] das Erzgebirge, Haack [123] Südamerika, Platz [124] einen ausgezeichneten Berg des Schwarzwaldes, Heiderich [125] endlich das Pamirplateau bearbeitet haben. Von anderen Beiträgen zur Orometrie ist schon oben die Rede gewesen. — Von Monographien über Hohlformen liessen sich (vgl. Kap. IV) mehrere anführen; obenan steht Pencks [126] detaillierte, namentlich auch in methodologischer Hinsicht bemerkenswerte Gestalt- und Grössenbestimmung des Boden-Sees.

Strengere Korrektheit suchte neuerdings v. Kövesligethy [127] dadurch in die Orometrie hineinzutragen, dass er die Berechnung einer jeden Bergform nicht auf eine beliebige Horizontalfläche, sondern auf das Oroid (ὄρος, Berg; εἰδής, ähnlich), d. h. auf eine eben durch die Eigenart des Berges gestaltlich modifizierte Niveaufläche (I, S. 178), zu beziehen vorschlug. Mit Hammer [128] wird man in dieser Neuerung mehr eine mathematische Untersuchung von allerdings nicht zu unterschätzendem theoretischen Interesse, denn eine eigentliche Bereicherung des morphometrischen Rechnungsapparates anzuerkennen haben. Besonders dann, wenn die früher (I, S. 228) der Zukunft vorbehaltene Aufgabe, die Deformation des Geoides unter dem Einflusse bestimmter Gebirgsmassen zu ermitteln, in Angriff genommen werden wird, dürften sich die Formeln v. Kövesligethys nützlich erweisen.

§. 6. **Die Mittelhöhe von Kontinentalmassen.** Der Mitteltiefe der Meere steht (S. 407) erwähntermassen die Mittelhöhe der Festlandmassen gegenüber, und wenn man eine wirkliche Einsicht in die Verteilung des flüssigen und festen Elementes auf der Erde erlangen will, so darf man sich nicht nur an das Oberflächenverhältnis halten (S. 379), sondern muss auch die Massen selbst berücksichtigen, zu welchem Zwecke eben Kenntnis der durchschnittlichen Mächtigkeit erforderlich ist. Insofern ein Gebirge von einem Kontinente zunächst nur quantitativ verschieden zu sein scheint, kann ohne weiteres daran gedacht werden, die bisher entwickelten Rechnungsweisen auch auf diesen allgemeineren Fall zu übertragen; indessen zeigt sich bald, dass dabei doch auch noch auf gar manches andere Rücksicht zu nehmen ist.

Einen ersten Anklang an unsere modernen Arbeiten auf diesem Gebiete glaubt Penck [129] bei Riccioli [130] und sodann De Luc [131] aufzeigen zu können. Laplace nahm [132] mit Recht an, dass mittlere Kontinentalhöhen und mittlere Ozeantiefen von gleicher Grössenordnung (beide rund gleich 1000 m) seien, wogegen Ed. Schmidt [133] die mittlere Landhöhe nur dem fünften Teile der mittleren Meerestiefe gleichsetzen zu sollen vermeinte. Auf genauere Schätzungen liess sich erst A. v. Humboldt ein [134], der für vier Erdteile — für Afrika und Australien lag noch gar zu wenig Thatsachenmaterial vor — diese Werte fand: Europa 205, Asien 351, Nordamerika 228, Südamerika 346 (Gesamtamerika 285) m. Es dauerte dann längere Zeit, bis die Geographen dem bis dahin noch sehr in der

Luft schwebenden Probleme von neuem ihre Aufmerksamkeit zuwandten. Von Peschel angeregt, der ganz zutreffend bemerkte [135], dass jede derartige Bestimmung nur einen Augenblickswert besitze und kraft neuer Höhenmessungen eine mehr oder minder eingreifende Abänderung erfahren müsse, nahm Leipoldt [136] Europa aufs neue vor und ermittelte H_e — so soll die Mittelhöhe Europas künftighin bezeichnet werden, während H_{as}, H_{af}, H_{au}, H_{amn}, H_{ams} eine entsprechende Bedeutung haben sollen —, gleich 297 m (Russland 167, Iberische Halbinsel 701, Skandinavische Halbinsel 428, Oesterreich-Ungarn 518, Balkanhalbinsel 580, Italien 517, Frankreich 394, Deutsches Reich 214, Grossbritannien 218, Schweiz 1300, Dänemark (mit allen Inseln) 352, Rumänien 282, Belgien 136, Holland 49 m). Chavannes [137] Wert für H_{af}, 662 m ohne Inseln, ist selbstverständlich mit einem grösseren wahrscheinlichen Fehler (S. 82) behaftet, während bei Heiderichs Revision [138] sich der etwas grössere Wert von 670 m ergab. Die erste Taxation von H_{as} nahm Penck [139] vor, indem er zu 750 m gelangte. Neuere Untersuchungen sind diejenigen, welche von De Lapparent [140], Murray [141], v. Tillo [142], Penck [143], Heiderich (in zwei Veröffentlichungen [144]) und Supan [145] angestellt wurden. Methoden und empirische Daten haben unausgesetzt Vervollkommnung und Erweiterung erfahren, aber trotzdem wird man vernünftigerweise von diesen Zahlen nicht eine allzu hohe Genauigkeit erwarten wollen, wie dies Hammer näher darlegt, indem er sagt [146]: „Die Berechnung genauer mittlerer Landeshöhen kann natürlich der Einzelne nicht durchführen; sie ist die Aufgabe der verschiedenen topographisch-geognostischen Landesuntersuchungen, wie sie in den meisten Staaten Europas, in einzelnen Staaten Nord- und Südamerikas bereits durchgeführt oder in Ausführung begriffen sind, und durch welche allein die Forderung von Bruhns erfüllt werden kann, dass man nämlich zur zuverlässigen Berechnung der Mittelhöhe eines Landes die Höhenlage von 7 Punkten pro Quadratmeile genau kennen müsse."

Die methodische Seite und der aktuelle Stand des Problemes wird am gründlichsten in einer Abhandlung von H. Wagner [147] beleuchtet, auf welche wir schon früher (S. 380) Bezug zu nehmen hatten. Derselbe wies, und diese Thatsache muss jedenfalls bei allen weiteren Arbeiten dieser Art beachtet werden, nach, dass bei Verwendung der Simpsonschen Formel (S. 707) mit grösster Vorsicht zu verfahren ist. Unter Berücksichtigung aller Kautelen fand Wagner [148] in m H_e (die Polarinseln eingeschlossen, doch ohne Kaukasien) = 300; H_{af} (Madagaskar eingeschlossen) = 650; H_{as} (nebst Inseln und Kaukasien) = 950; H_{au} (Polynesien mit inbegriffen) = 300; H_{amn} = 700, H_{ams} = 650. Für Gesamtamerika findet sich eine Mittelhöhe in m = 680; für Eurasien = 830. Die mittlere Höhe der Gesamtlandmasse ist rund auf 700 m zu veranschlagen, wodurch, wenn die gesamte Landoberfläche mit 134,7 Millionen Quadratkilometer in Rechnung gebracht ist, für das Totalvolumen des über das Meeresniveau sich erhebenden Festlandes ein Betrag von etwas über 94 Millionen Kubikkilometer erhalten wird. Von Heiderich (s. o.) wird die Zahl 700 für eine zu niedrige erklärt; dass in einem Handbuche auch nicht einmal der Versuch unternommen werden kann, einen Ausgleich zweier aus langwieriger und teilweise auf ein verschiedenes Ziel gerichteter Rechnungsarbeit hervorgegangener Resultate anzubahnen, liegt am Tage.

Im Gegensatze zu jenem räumlich grösseren Festkörper, welchen wir oben als Kontinentalblock (S. 695) definierten, stellt Wagner [149] denjenigen, dessen Kubikinhalt soeben bestimmt ward, als Landblock neben den Wasserblock, der als ein Prisma von 365,5 qkm Basis und 3500 m Höhe aufzufassen ist. Man hat daran gedacht, statische Beziehungen zwischen beiden Blöcken ausfindig machen zu können. An Lamarck [150] anknüpfend, glaubte Krümmel [151] dargethan zu haben, dass Gleichgewicht „zwischen der irdischen Meeresdecke und dem Erdfesten" bestehe, wogegen freilich v. Boguslawski [152]

einwandte, dass bei entsprechender Rücksichtnahme auf die Böschungsverhältnisse die Verhältniszahl von 1 nicht unbeträchtlich abweiche. Später machte Romieux [153] den Erfahrungssatz bekannt: Die Oberflächen von Land- und Wasserblock verhalten sich zu einander wie die Quadratwurzeln aus den Blockhöhen. Dass sich dies in Wahrheit nicht bestätige, ist von Heiderich [154] ausser Zweifel gesetzt worden.

Die Grenze des Kontinentalfusses oder das mittlere Krustenniveau, welches durch Ausebnung der festen Erdrinde gegeben ist, liegt nach Wagner [155] bei — 2300 m. Gilt als Kondensationsniveau, im Sinne Pencks [156], die Höhe, bis zu welcher eine homogen gedachte Litho- und Hydrosphäre aufragen würde, so ist dasselbe in die Höhe von rund — 1300 m zu verlegen. Verzeichnet man (S. 696) die hypsographische Krustenkurve, so erhellt [157]: Die Profilfläche des über dem Meeresspiegel gelegenen Teiles des Kontinentalblockes muss dem Volumen der Landmassen (s. o.) und die Gesamtprofilfläche des Kontinentalblockes muss der Profilfläche der abysischen Region gleich sein.

§. 7. **Gebirgsformen und geognostische Beschaffenheit in Wechselwirkung.** Sowohl das Gebirge als auch — in noch höherem Mafse — der Einzelberg ist vielfach durch die äussere Form kenntlich, in welcher sich das Profil, die Silhouette der Erhebung vom Himmelsgewölbe abhebt. Die volkstümliche Nomenklatur dieser Formen ist eine ungemein reichhaltige, und nur zum Teile vermag die Wissenschaft die einzelnen Vulgärnamen in befriedigender Weise zu fixieren. Neben der lediglich äusserliche Merkmale berücksichtigenden Uebersicht v. Sonklars [158] sind als sehr wichtig die dem genetischen Momente sein Recht widerfahren lassenden Klassifikationen von Baltzer [159] und A. Heim [160] zu bezeichnen.

Deutsche, französische, englische, spanische und italienische Volksausdrücke stellt in einer Reichhaltigkeit, wie sie anderwärts nicht wohl wieder erreicht sein dürfte, Penck zusammen, der auch die Entstehungsgeschichte der Bergtypen zum Gegenstande einer genetischen, vorläufig also noch nicht in unser Arbeitsgebiet gehörigen Untersuchung machte [161]. Wir gehen hierauf nicht näher ein, weil die Geophysik als solche mit der Aufgabe, die Formenmannigfaltigkeit der Natur zu sichten und durch Gruppenbildung übersichtlicher zu machen, nur in sehr indirekter Beziehung steht. Dagegen ist die weitere Frage auch für uns von Belang: Hat die Gesteinsart, aus welcher eine Bodenerhebung hauptsächlich besteht, einen nennenswerten Einfluss auf die Gestaltung der Oberfläche?

Das wird, wie v. Sonklar ausführt [162], nicht in Abrede gezogen werden können. Gneis und krystallinische Schiefer (S. 671) bilden zumeist Hügel oder Berge mit sanft geböschten Hängen; Kalkstein, Dolomit (S. 666) und teilweise auch Sandstein pflegen wenigstens im Hochgebirge, wo die zerstörenden Faktoren diesen minder widerstandsfähigen Felsarten gegenüber eine kräftigere Aktion auszuüben im stande sind, plateauartig ausgebreitete Massive mit mehr oder minder stark zerrissener und zerklüfteter Oberfläche zu liefern. Mässige Steigungen sind den thonigen Massen eigen, welche durch Verwitterung plutonischer Gesteine (I, S. 391) entstanden sind. Ziemlich wechselnd sind in ihren Erscheinungsformen Granit (nebst Protogin; vgl. I, S. 397) und Syenit; zumal in grösserer Höhe entwickeln sich diese — wahrscheinlich noch innerhalb der Erdrinde fest gewordenen und erst durch spätere Denudation (S. 602) sichtbar gewordenen — Intrusivmassen zu einem Relief von plastischer Grossartigkeit, wie denn nach Graham-Diener [163] im Himálaya sogar überhängende Formen (S. 703) in weitem Ausmafse angetroffen werden. Plateaux-bildend erweisen sich auch Porphyr und Melaphyr, wogegen Phonolith, wie schon bemerkt (I, S. 398), mit Vorliebe zu steil aufragenden Quellkuppen (Hohentwiel u. s. w.) das Material abgibt. Auch der unbefangenste Reisende wird sich des durch solche Besonderheiten hervorgerufenen Eindruckes nicht erwehren können, wenn er etwa von Bozen aus den langgestreckten, einförmigen Rücken der (porphyrischen) Mendel mit der in wilde Zacken aufgelösten (dolomitischen) Rosengartengruppe vergleicht, die als Typus dieser

Formation betrachtet werden kann; wir verweisen auf die treffliche Schilderung, welche Norman-Neruda und Forcher-Mayr von ihr entworfen haben [164]. Bei geschichteten Gebirgen wird der Steilheitsgrad einigermassen bestimmt durch den Fallwinkel, in manchen Fällen wohl auch durch die Richtung, in welcher die Schichten streichen (S. 670); doch darf der Satz, dass steil aufgerichtete Schichten eine gewisse Unwegsamkeit bedingen, keineswegs umgekehrt werden; Penck sagt hierüber [165]: „Was die Schichtung anlangt, so nimmt man mit Recht an, dass steile Schichtenstellung kühn zugeschnittene Formen erzeuge, doch ist auch das Matterhorn bei wenig geneigten Schichten eine solche.“ Ueberhaupt muss man sich davor hüten, aus dem Umstande, dass eine gewisse Gesteinsart sich gerne in gewissen Erscheinungsbildern offenbart, sofort den Schluss zu ziehen, dass, wenn man auf ein analoges Bild stösst, notwendig auch der geognostische Charakter der gleiche sein müsse. So enge darf der an und für sich unleugbar vorhandene Zusammenhang zwischen Gesteinsart und Oroplastik nicht aufgefasst werden, wennschon ein Humboldt [166] dieser Meinung zuneigte und A. Boué [167] viel Fleiss daran setzte, eine solche Abhängigkeit als allenthalben vorhanden nachzuweisen.

Bislang war ausschliesslich die petrographische Eigenart der Felsarten in ihrer Beziehung zur Physiognomik der Landoberfläche ins Auge gefasst worden. Daran kann sich aber eine zweite Aufgabe reihen, die nämlich, zuzusehen, ob nicht auch das in der geologischen Formation sich offenbarende Alter (S. 678) der Gesteinslagen einen gewissen Einfluss auf das Landschaftsbild ausübe. Von allen Geologen dürfte es wohl v. Gümbel mit der Lösung dieser Aufgabe am ernstlichsten genommen haben.

Nachdem Delitsch auf die regelmässigen Wellenlinien des Silurs und Devons im rheinisch-belgischen Steinkohlengebirge aufmerksam gemacht hat, fährt er fort [168]: „Die Trias tritt, als ein bereits vor der Jura- und Kreidezeit der Erdbildung gehobener Meeresboden, hauptsächlich in Plateauform auf, und die einzelnen Abteilungen pflegen sich terrassenförmig zu gliedern.“ Es ist hier also auch schon der Versuch angedeutet, für die Erscheinung einen Grund anzugeben. In seiner Geographie von Bayern benützt Goetz jede Gelegenheit, um auf die Ursachen der Verschiedenartigkeit im Aspekte eines Landstriches hinzuweisen; so ist ihm zufolge [169] beispielsweise die Oberpfalz landschaftlich in drei Teile zu zerlegen: in einen reizvollen östlichen, dem das Urgebirge seinen Stempel verliehen hat; in einen ebenfalls sehr interessanten westlichen, innerhalb dessen der Jurakalk vorherrscht; endlich in eine an Naturreizen sparsame Zwischenzone, die sich wesentlich aus schwach profilierten, mesozoischen Sandsteinen zusammensetzt.

Eine kurz gefasste Uebersicht der Charakteristiken, in denen v. Gümbel die orographischen Eigentümlichkeiten der Hauptformationen zusammenfasst, soll hier nicht fehlen. Zwischen archaischen, kambrischen und silurischen Bildungen besteht nach ihm [170] kein namhafter Unterschied; abgerundete Formen der Bodenungleichheiten wiegen vor, ohne dass dadurch steil abfallende Gehänge und tief eingeschnittene Thäler ausgeschlossen wären. Letztere kennzeichnen auch [171] das Karbon, und zwar legte den Grund dazu die jenem Zeitalter eigentümliche Tendenz zu Verwerfungen, durch welche die ursprünglichen, regelmässigen Becken zerrissen und ihres Zusammenhanges beraubt wurden. Die verschiedene — durch Abscheidung aus seichtem oder tiefem Meere (S. 683) erfolgte — Bildung der Mittel- und Hochgebirgstrias war auch für deren so höchst verschiedenen landschaftlichen Typus massgebend [172]. Lias bethätigt Neigung zur Aufschichtung welligen oder terrassenartig aufsteigenden Geländes [173]; steilere Treppenränder finden sich im Dogger [174], und im Malm wird die Terrassierung da, wo riffartiger Korallenkalk (S. 645) oder Dolomit räumlich die Oberhand gewinnen, häufig durch jähe Abfälle und groteske Felsenbildungen abgelöst [175]. Nirgends tritt dies drastischer als in der sogenannten Fränkischen Schweiz hervor; „es sei nur an die kühnen Auszackungen der Felsen des Quackenschlosses, an jene von Tüchersfeld, an die burggekrönten Kuppen von Gössweinstein, Rabenstein, Rabeneck und Pottenstein erinnert“ [176]. Von der Kreideformation lässt sich weit schwerer eine Summe typischer Grundzüge nachweisen [177]. Auch das Tertiär entbehrt derselben, insoweit nicht die Flysch- und Molassebildungen — falls man erstere noch als paleozän

(S. 680) gelten lassen will — durch ihre Hügelformen scharf gegen das angrenzende Hochgebirge abstechen [178]. Die diluviale Moränenlandschaft ist durch unruhigen Wechsel der Oberflächenformen so ausgezeichnet, dass die Eigenart derselben auch dem Laien leicht zum Verständnis kommt.

Zum Schlusse sei daran erinnert, dass dann, wenn es auf die Einteilung eines Gebirges in Untereinheiten ankommt, Geognosie und Morphographie sich notwendig die Hand reichen müssen. Die Mittelgebirge fordern zu einer solchen Bearbeitung weniger dringend auf; um so gebieterischer dagegen macht sich die Notwendigkeit der Gruppenbildung in der alpinen Geographie geltend, und so ist denn auch, seit L. v. Buch [179] den Gegensatz zwischen der primitiven Zentralkette und den sie beiderseits — in Wirklichkeit freilich nur mit grossen Unterbrechungen — begleitenden Kalkketten hervorgehoben hatte, an Bemühungen in dieser Richtung kein Mangel gewesen; Ebel, Studer, v. Beitzke, Schmidt, Schaubach, Ilwof, v. Haardt, Emmrich, v. Mojsisovics sind als Autoren auf diesem Gebiete zu nennen. Durch den letzteren [180], wie auch vorher schon durch v. Richthofen [181] wurde insbesondere die Existenz einer Scheidelinie erwiesen, zu deren beiden Seiten sich Gebirge von ungleichartigem geologischem Wesen erstreckten, so dass also durch sie eine innerlich begründete Trennung in West- und Ostalpen gegeben erschien; allerdings erhielten dadurch die letzteren eine Vergrösserung, welche mit der landläufigen Anschauung einigermassen in Widerspruch stand. Während noch C. Neumann bei der in seinen Vorlesungen gegebenen Gliederung das rein deskriptive Element etwas zu sehr vorwalten liess [182], kommt bei den neueren Arbeiten auf diesem Felde, die von Czech [183] und v. Boehm [184] herrühren, der geologische Gesichtspunkt immer mehr zur Geltung. Das hydrographische Teilungsprinzip lässt der letztgenannte gänzlich ausser acht; hatte doch auch v. Sonklar den recht bezeichnenden Ausspruch gethan [185], es bekundeten „die Formationsgrenzen gegen Thaleinschnitte, Flussdurchbrüche und Sättel gewöhnlich eine rücksichtslose Selbstständigkeit“. Wir haben es hier offenbar mit einem sehr komplexen, einer eindeutigen, jedermann sofort zufriedenstellenden Lösung ganz unfähigen Probleme zu thun, das nur durch fortgesetzte Bearbeitung mehr und mehr geklärt zu werden vermag. Die Grundsätze jedoch, nach welchen bei v. Boehm die Zerlegung der Alpen östlich von Hochrhein, Splügen und Luganer-See in zusammengehörige Individualgruppen erfolgte, werden auch in anderen Fällen als normativ anzuerkennen sein. Ein gutes Beispiel für die in Einzelfällen sogar zu überwindenden Schwierigkeiten, die sich insbesondere dann häufen, wenn es sich um ausgiebige Berücksichtigung einer verzweigten Lokallitteratur handelt, gewährt v. Boehms Monographie [186] über die Namengebung des südöstlichsten Ausläufers der Julischen Alpen.

[1] Penck, Morphologie der Erdoberfläche, I, Stuttgart 1894, S. 104 ff. — [2] v. Tillo, Die Zentren der Kontinente und deren gegenseitige Lage, P. G. M., XXXIV, S. 112 ff. — [3] Peschel, Neue Probleme der vergleichenden Erdkunde, Leipzig 1878, S. 5 ff. — [4] Penck, a. a. O., I, S. 131 ff. — [5] Peschel, a. a. O., S. 70. — [6] Steffens, Geognostisch-geologische Aufsätze, Hamburg 1810, S. 177 ff. — [7] Karpinsky, Bemerkungen über die Regelmässigkeit in der Gestalt und dem Bau der Kontinente, M. p. c. P., 1887, S. 717 ff. — [8] K. Schroeder, Étude synthétique des faits d'alignement naturels à la surface du globe terrestre, B. S. G., 1877, S. 548 ff. — [9] A. Boué, Ueber geometrische Regelmässigkeiten des Erdballes, S. A. W., M. N., 1857, S. 255 ff. — [10] Ullrich, Die horizontale Gestalt und Beschaffenheit Europas und Nordamerikas, Leipzig 1883. — [11] Ebenda, S. 18. — [12] Weinberg, Recherches sur la disposition et la configuration des continents et des îles, B. S. N. M., 1869, S. 198 ff. — [13] Pallas, Betrachtungen über die Beschaffenheit der Gebirge, St. Petersburg 1778, S. 68 ff. — [14] Reichenbach, Gestaltung der Erdoberfläche nach bestimmten Gesetzen, Berlin 1873. — [15] Dorr, Ueber das Gestaltungsgesetz der Festlandumrisse, Liegnitz 1879. — [16] A. Kirchhoff, Besprechung hiezu, J. Lt., 1874, S. 283 ff. — [17] Penck, I, S. 43 ff. — [18] Ebenda, I, S. 135 ff. — [19] H. R Mill, The Vertical Relief of the Globe, Sc. G M., VI, S. 183 ff. — [20] Penck, I, S. 139. — [21] K. F. Naumann, Lehrbuch der Geognosie, I, Leipzig 1858, S. 308. — [22] Letoschek, Hochland = Tiefland, Z. S., VIII, S. 168 ff. — [23] R. Lehmann, Vorlesungen über Hilfsmittel und Methode des geographischen Unterrichts, I, Halle a. d. S. 1894, S. 186. — [24] Penck, I, S. 137. — [25] v. Sonklar, Allgemeine Orographie, die Lehre von den Reliefformen der Erdoberfläche, Wien 1872. — [26] H. Berger, Geschichte der wissenschaftlichen Erdkunde der Griechen, III, Leipzig 1891, S. 90 — [27] Günther Wissenschaftliche Bergbesteigungen in älterer Zeit, J. G. G. M., XVI, S. 51 ff.; Biese, Die Entwicklung des Naturgefühles bei den Griechen und Römern, Kiel 1882. — [28] H. Berger, a. a. O., I, Leipzig 1887, S. 73, 80, 131. — [29] Günther, Johann Eck als Geograph, F. K. L. B., II, S. 150 ff. — [30] Peschel-Ruge, Geschichte der Erdkunde bis auf A. v. Humboldt und C. Ritter, München 1877, S. 148. — [31] Ebenda, S. 220. — [32] Buache, Essai de géographie physique, où l'on propose des vues générales sur l'espèce de charpente du globe, composée de chaînes de montagnes qui traversent les mers comme les terres, M. A. P., 1756, S. 399 ff. — [33] F. Schultz, Ueber den allgemeinen Zusammenhang der Höhen, Weimar 1803. — [34] Otto, Vermischte Beiträge zur physikalischen Erdbeschreibung, Brandenburg 1773. — [35] J. C. Zimmermann, Ueber die Strukturverhältnisse der Gebirgsarten, Heidelberg 1805. —

[36] v. Gomez, Terrainlehre, Wien 1808. — [37] Kant-F. W. Schubert, Schriften zur physischen Geographie, Leipzig 1839, S. 523. — [38] Penck, I, S. 162. — [39] Schaubach, Die deutschen Alpen, Jena 1845—1847; 2. Aufl. 1865—1874. — [40] v. Sonklar, Die Gebirgsgruppe des Hochschwab, Wien 1859; Die Gebirgsgruppe der Hohen Tauern, ebenda 1866; Die Oetzthaler Gebirgsgruppe, Gotha 1860; Die Zillerthaler Alpen, ebenda 1872. — [41] A. v. Humboldt, Kamm- und Gipfelhöhe der wichtigsten Gebirge, A. P. C., XIII, S. 521 ff.; On the Physiognomy of the Surface of the Earth, E. N. P. J., 1845, S. 105 ff. — [42] Bruhns, A. v. Humboldt, eine wissenschaftliche Biographie, III, Leipzig 1872, S. 194 ff. — [43] Ebel, Ueber den Bau der Erde in den Alpengebirgen und über den Bau der Erde überhaupt, Zürich 1808. — [44] Boersch, Von den Unebenheiten des festen Landes, insbesondere vom Gebirge, Marburg i. H. 1817. — [45] C. Ritter, Die Erdkunde im Verhältnis zur Natur und Geschichte des Menschen oder allgemeine vergleichende Geographie, V, 4, Berlin 1835, S. 651. — [46] v. Barth-Pfaundler, Die Stubaier Gebirgsgruppe, Innsbruck 1865. — [47] Waltenberger, Orographie der Algäuer Alpen, Augsburg 1881; Orographie des Wettersteingebirges und der Miemingergruppe, ebenda 1881. — [48] Partsch, C. v. Sonklar, M. d. ö. A., 1885, S. 23 ff. — [49] v. Richthofen, Führer für Forschungsreisende, Berlin 1886, S. 631 ff. — [50] Penck, Morphologie der Erdoberfläche, Stuttgart 1894, I, S. 185 ff.; II, S. 1 ff.; Die Formen der Landoberfläche, V. X. D. G., S. 28 ff. — [51] Scobel, Geographisches Handbuch zu Andrees Handatlas, Bielefeld-Leipzig 1899, S. 53 ff. — [52] Penck, Morphol. etc., II, S. 2. — [53] Ebenda, II, S. 6. — [54] Ebenda, II, S. 9. — [55] Humboldt, Ansichten der Natur; Werke, XI, S. 76 ff. — [56] Penck, a. a. O., II, S. 36. — [57] v. Richthofen, a. a. O., S. 638. — [58] Penck, I, S. 185; II, S. 203 ff. — [59] Ebenda, II, S. 58 ff. — [60] v. Richthofen, S. 650. — [61] Penck, II, S. 60. — [62] Pechuël-Lösche, Der Gebirgslauf des Kongo, V. III. D. G., S. 12 ff. — [62] Regnet, Aus dem Allgäu, D. R. G. St., V, S. 509. — [63] Sievers, Die Cordillere von Mérida, Wien 1888 (P. G. A., III, 1), S. 145 ff. — [64] Hettner, Gebirgsbau und Oberflächenbeschaffenheit, Stuttgart 1887, S. 9. — [65] Beitzke, Geschichte der Freiheitskriege, II, Berlin 1864, S. 70. — [66] Loewl, Siedelungsarten in den Hochalpen, Stuttgart 1888, S. 17. — [67] Penck, II, S. 67. — [68] Ebenda, II, S. 78. — [69] Hammer, Die orographische Gestaltung Württembergs und sein geologischer Bau, Z. w. G., III, S. 97 ff. — [70] Penck, II, S. 2, 447 ff. — [71] v. Richthofen, S. 686. — [72] Penck, II, S. 367. — [73] C. F. Naumann, Lehrbuch der Geognosie, I, Leipzig 1850, S. 313. — [74] C. Ritter, Die Erdkunde, I, Berlin 1817, S. 72. — [75] Neumayr, Ueber Ketten- und Massengebirge, Z. d. ö. A., XIX, S. 1 ff.; P. G. M., XXV, S. 202 ff. — [76] Peucker, Beiträge zur orometrischen Methodenlehre, Trebnitz i. Sch. 1890. — [77] Penck, I, S. 37 ff. — [78] Penck, Einteilung und mittlere Kammhöhen der Pyrenäen, J. G. G. M., X, S. 12 ff. — [79] Loewe, Strassenbaukunde, Wiesbaden 1895, S. 165 ff.; Lueger, Lexikon der gesamten Technik und ihrer Hilfswissenschaften, III, Stuttgart-Leipzig-Berlin-Wien s. a., S. 783 ff. — [80] Amsler-Laffon, Anwendung des Integrators zur Erdmassenberechnung, Zürich 1875. — [81] Culmann, Die graphische Statik, Zürich 1866, S. 54 ff. — [82] Eickemeyer, Das Massennivellement und dessen praktischer Gebrauch, Leipzig 1870. — [83] v. Bauernfeind, Ueber die graphischen Bestimmungen der Erdabgleichungen und Transportweiten, München 1856. — [84] Rothe, Ueber die Ausrechnung schief abgeschnittener Prismen, A. r. a. M., II, S. 195 ff. — [85] Penck, I, S. 74. — [86] Kořistka, Studien über die Methoden und die Benützung hypsometrischer Arbeiten, Gotha 1858, S. 92 ff. — [87] Penck, I, S. 81. — [88] Elfert, Volumetrische Berechnung von Gebirgen mittelst des Prismatoides, P. G. M., XXIII, S. 245 ff. — [89] Leicher, Orometrie des Harzgebirges, Halle a. S. 1886. — [90] Th. Simpson, Mathematical Dissertations on a Variety of physical and analytical Subjects, London 1743, S. 109 ff.; Cantor, Vorlesungen über Geschichte der Mathematik, III, Leipzig 1898, S. 663 ff. — [91] Penck, I, S. 76 ff.; Die Volumberechnung von Höhen und Tiefen der Erdoberfläche, P. G. M., XXXVI, S. 154 ff. — [92] Murray, On the Height of the Land and the Depth of the Sea, Sc. G. M., IV, S. 1 ff. — [93] Ricchieri, Nuove formole orometriche per determinare l'altezza media ed il volume, Livorno 1889. — [94] Peucker, a. a. O., S. 6 ff. — [95] Heiderich, Die mittlere Höhe Afrikas, P. G. M., XXXIV, S. 209 ff. — [96] L. Neumann, Orometrische Studien im Anschlusse an die Untersuchung des Kaiserstuhlgebirges, Z. w. G., VII, S. 320 ff.; Orometrie des Schwarzwaldes, Wien 1886 (P. G. A., I, 2). — [97] v. Boehm, Ueber die Genauigkeit der Bestimmung von Gebirgsvolumen, V. 8. D. G., S. 214 ff. — [98] Ricchieri, Sulle formole orometriche proposte dal generale C. Sonklar, Rom 1886. — [99] v. Sonklar, a. a. O., S. 187. — [100] Brückner, Die Hohen Tauern und ihre Eisbedeckung, Z. d. ö. A., XVII, S. 163 ff. — [101] L. Neumann, a. a. O., S. 364 ff. — [102] Peucker, S. 115 ff. — [103] Ebenda, S. 20 ff., 29 ff. — [104] Finsterwalder, Ueber den mittleren Böschungswinkel und das wahre Areal einer topographischen Fläche, S. A. M., M. P., 1890, S. 35 ff. — [105] Penck, I, S. 36. — [106] Ebenda, I, S. 47. — [107] Peucker, a. a. O., S. 45; Der mittlere Neigungswinkel des Bodens, M. d. ö. A., 1890, Nr. 1. — [108] Brüch, Vergleich der aus den Vermessungen hervorgehenden Flächenräume mit jenen, die in der Natur wirklich vorhanden sind, Wien 1887. — [109] Kurowski, Das reduzierte und wahre Areal der Oetzthaler Gletscher, B. V. W. G., VII, S. 25 ff. — [110] Beneš, Die wahre Oberfläche des Böhmerwaldes im Vergleiche zu ihrer Projektion, ebenda, S. 50 ff. — [111] Finsterwalder, a. a. O., S. 35 ff. — [112] Boussinesq, Essai sur la théorie des eaux courants, M. p. d. s., XXIII, S. 173 ff. — [113] Quidde, Kurven gleicher Steilheit auf Flächen zweiten Grades, Stargard 1879. — [114] Boussinesq, a. a. O., S. 165 ff.; Sur les lignes de faîte et de thalweg, C. R., LXXV, S. 198 ff., 835 ff. — [115] C. Jordan, Sur les lignes de faîte et de thalweg, ebenda, LXXIV, S. 1457 ff.; LXXV, S. 625 ff., 1023 ff. — [116] Commenda, Materialien zur Orographie und Geognosie des Mühlviertels, Linz 1884. — [117] Führnkranz, Orometrie der Trenta-Gruppe, B. V. W. G., XIII, S. 19 ff. — [118] Gsaller, Die Kalkkögel bei Innsbruck, Z. d. ö. A., XV, S. 145 ff.; Studien aus der Stubaier Gebirgsgruppe, ebenda, XVII, S. 127 ff. — [119] Grissinger, Studien zur physischen Geographie der Tatra-Gruppe, B. V. W. G., XVIII, S. 16 ff. — [120] Stange, Orometrie des Thüringer Waldes, Halle a. d. S. 1885. — [121] B. Fiedler, Vergleich orometrischer Methoden im Anschluss an ihre Anwendung auf den Thüringer-Wald, Halle a. d. S. 1890. — [122] Burgkhardt, Das Erzgebirge; eine orometrisch-anthropogeographische Studie, Leipzig 1888. — [123] Haack, Orometrie von Südamerika, Halle a. S., 1896. — [124] Platz, Die Hornisgrinde; eine topographisch-geologische Studie, Karlsruhe 1885. — [125] Heiderich, Mittlere Höhe der Pamirgebiete, B. V. W. G., XIII, S. 33 ff. — [126] Penck, Morphometrie des Boden-Sees, J. G. G. M., XV, S. 119 ff. — [127] v. Kövesligethy, Ueber eine neue Methode der Morphometrie der Erdoberfläche, M. B. U., XIII, S. 365. — [128] Hammer, Besprechung hiezu, P. G. M., L. B., XLV, Nr. 16. — [129] Penck, I, S. 147. — [130] Riccioli, Almagestum novum, astronomiam veterem novamque complectens, I, Bologna 1651, S. 71. — [131] De Luc, Lettres physiques et morales sur l'histoire de la terre et de l'homme, II, Haag 1778, S. 190. — [132] Laplace, Exposition du système du monde, Paris 1813, S. 260 ff. — [133] Ed. Schmidt, Lehrbuch der mathematischen und physischen Geographie, I, Göttingen 1830, S. 21 ff. — [134] A. v. Humboldt, Versuch, die mittlere Höhe der Kontinente zu bestimmen, A. P. C., LVII, S. 107 ff.; E. N. P. J., XXXIV, S. 326 ff. — [135] Bruhns, a. a. O., III, S. 196. — [136] Leipoldt, Die mittlere Höhe Europas, Plauen 1874. — [137] Chavanne, Die mittlere

Höhe Afrikas, Wien 1881. — [138] Heiderich, Die mittlere Höhe Afrikas, P. G. M., XXXIV, S. 109 ff. — [139] Penck, I, S. 148; V. G. E. B., XI, S. 381 ff. — [140] De Lapparent, Traité de géologie, Paris 1885, S. 63 ff. — [141] Murray, On the Height etc., S. 10 ff.; Penck, I, S. 141 ff. — [142] v. Tillo, Die mittlere Höhe der Kontinente und die mittlere Tiefe der Ozeane, P. G. M., XXXV, S. 48 ff. — [143] Penck, Die mittlere Höhe des Landes und die mittlere Tiefe der Ozeane, ebenda, XXXV, S. 17 ff. — [144] Heiderich, Die mittleren Erhebungsverhältnisse der Erdoberfläche, Wien-Olmütz, 1891 (P. G. A., V, 1); Die mittlere Erhebung der Landoberfläche: eine Erwiderung auf H. Wagners kritische Studie, B. G., IV, S. 26 ff. — [145] Supan, Grundzüge der physischen Erdkunde, Leipzig 1896, S. 36 ff. — [146] Hammer, Ueber mittlere Höhen und Tiefen, H., II, S. 447. — [147] H. Wagner, Areal und mittlere Erhebung der Landflächen, sowie der Erdkruste; eine kritische Studie, insbesondere über den Anwendungsbereich der Simpsonschen Formel, B. G., II, S. 731 ff. — [148] Ebenda, S. 744. — [149] Ebenda, S. 450. — [150] A. Lang, Lamarck und Darwin; ein Beitrag zur Geschichte der Entwicklungslehre, K., I, S. 246. — [151] Krümmel, Die mittleren Tiefen der Ozeane und das Massenverhältnis von Land und Meer, G. G. N, 1878, S. 562; Versuch einer vergleichenden Morphologie der Meeresräume, Leipzig 1879, S. 102 ff. — [152] v. Boguslawski-Krümmel, Handbuch der Ozeanographie, I, Stuttgart 1884, S. 62 ff. — [153] Romieux, Relations entre la déformation actuelle de la croîte terrestre et les densités des terres et des mers, C. R., CXI, S. 994 ff. — [154] Heiderich, a. a. O., S. 94. — [155] Wagner, a. a. O., S. 756. — [156] Penck, I, S. 165. — [157] Wagner, S. 764. — [158] v. Sonklar, S. 57 ff. — [159] Baltzer, Der Glärnisch, Zürich 1873, S. 9 ff. — [160] A. Heim, Verwitterungsformen der Berge, Zürich 1874 (Z. Nb., Nr. 76). — [161] Penck, II, S. 146 ff.; Ueber Bergformen, Berlin 1895 (H. E., VII, 1. Heft). — [162] v. Sonklar, S. 74 ff. — [163] Diener, Mr. W. W. Grahams Hochtouren in Sikkim, Gurhwal und Kaanoor, M. D. ö. A., 1885, Nr. 2. — [164] Norman-Neruda und Forcher-Mayr, Die Rosengartengruppe, Z. d. ö. A., XXVIII, S. 293 ff.; XXIX, S. 361 ff. — [165] Penck, II, S. 157 ff. — [166] Humboldt, Werke, XI (Ansichten der Natur), S. 177. — [167] A. Boué, Einige Bemerkungen über die Physiognomik der Gebirgsketten, der Gebirge, der Berge, der Hügel, der Thäler, der Ebenen, sowie der verschiedenen Felsarten, S. A. W., M. N., 1865, S. 50 ff. — [168] Delitsch, Deutschlands Oberflächenform, Breslau 1880, S. 40, 46. — [169] Goetz, Geographisch-historisches Handbuch von Bayern, I, München 1895, S. 677. — [170] v. Gümbel, Geologie von Bayern, I, 2, Kassel 1886, S. 544, 565. — [171] Ebenda, S. 617. — [172] Ebenda, S. 663, 680, 715. — [173] Ebenda, S. 749. — [174] Ebenda, S. 777. — [175] Ebenda, S. 810. — [176] v. Gümbel, Geologische Beschreibung von Bayern, Kassel 1894, S. 858. — [177] v. Gümbel, Geologie von Bayern, I, 2, S. 873. — [179] Ebenda, S. 927. — [179] v. Buch, Geognostische Beobachtungen auf Reisen durch Deutschland und Italien, I, Berlin 1802, S. 280 ff. — [180] v. Mojsisovics, Die Bedeutung der Rheinlinie in der geologischen Geschichte der Alpen, V. G. R., 1873, S. 149 ff. — [181] v. Richthofen, Geognostische Beschreibung der Umgegend von Predazzo, St. Cassien und der Seisser Alpe, Gotha 1860. S. 2. — [182] C. Neumann-Partsch, Die Grenzen der Alpen, Z. d. ö. A., XIII, S. 189 ff. — [183] Czech, Beitrag zur naturgemässen Einteilung der Alpen, Düsseldorf 1883. — [184] v. Boehm, Einteilung der Ostalpen, Wien 1887 (P. G. A., I, 3). — [185] v. Sonklar, S. 48 ff. — [186] v. Boehm, Steiner Alpen; ein Beitrag zur Entwicklungsgeschichte der Gebirgsgruppennamen, Wien 1893.

Kapitel III.

Die Süsswasser im festen Zustande; Schnee und Eis.

§. 1. Uebersicht der Erscheinungsformen. In der Meteorologie (Abt. V, Kap. I) wurden die verschiedenen Formen fester atmosphärischer Niederschläge näher besprochen. Manche von ihnen, wie etwa der Reif, sind von vorübergehender Natur; andere dagegen können sich länger halten und geben dann gewissen Teilen der Erdoberfläche für längere Zeit oder auch für immer ein charakteristisches Aussehen. Vom Eise des Meeres handelte bereits Kap. VI der VI. Abteilung; nunmehr tritt das gefrorene Wasser an der Landoberfläche in seine Rechte.

Der Schnee, welcher aus der Luft herabfällt, überdauert in Gebieten von geringerer Meereshöhe nur ausnahmsweise die warme Jahreszeit; zumeist schmilzt er im Sommer, nachdem er zuvor Gelegenheit gehabt hatte (S. 256), das Klima solcher Gegenden, in welchen er eine dichte Decke bildet, sehr erkennbar zu beeinflussen. Immerhin bildet er auch da, wo er nur als eine wechselnde Staffage der Landschaft erscheint, ein interessantes Objekt der physikalischen Erdkunde, obwohl man ihn erst in jüngster Zeit als solches anerkannt hat. Man konzentrierte eben die ganze Aufmerksamkeit auf den Schnee der höheren Gebirgsregionen, weil er hier das ganze Jahr über sich erhält und nur spärlich und gelegentlich jene Grenzlinie überschreitet, jenseits deren ihm die Luftwärme unter normalen Ver-

hältnissen zu existieren gestattet. Die Verbindung zwischen der Schneeregion und den tieferen Zonen wird einerseits durch die Lawinen, andererseits durch Eisströme hergestellt, deren Material ursprünglich gleichfalls Hochschnee war und sich erst allmählich, und durch mancherlei Metamorphosen, eine festere Struktur angeeignet hat. Dieser Umstand nötigt dazu, die verschiedenen Modalitäten des Auftretens von Eis im Binnenlande einer Untersuchung zu unterwerfen, und daran reiht sich dann ganz von selbst das Studium der vorgenannten Eisströme, der Gletscher und jener Festkörperansammlungen, welche von den Gletschern unzertrennlich sind. Dagegen sollen die geologischen Wirkungen des bewegten Eises dem für alle einschlägigen Fragen zuständigen Schlusskapitel vorbehalten bleiben. Der Gebirgsschnee und das Gebirgseis können oft geradezu als eine selbständige geologische Formation aufgefasst werden, und dies war noch in unverhältnismässig grösserem Ausmafse der Fall, als während der Eiszeit — oder während der Eiszeiten — die Masse des von den Bergen zum Tieflande niedersteigenden Eises eine so ungleich gewaltigere war. Zwei Residuen der Uebereisungsperioden ziehen dann noch besonders unsere Augen auf sich: das in subpolaren und polaren Ländern vielfach zu findende Bodeneis auf der einen und die mächtige Eispanzerung Grönlands auf der anderen Seite, das sogenannte Inlandeis, dessen Bewegung nur auf Grund der bei der gewöhnlichen Gletscherbewegung erworbenen Erfahrungen zu verstehen ist. Endlich darf auch nicht vergessen werden, dass hie und da in geschützten Räumen, wie Höhlen u. dgl., festes Wasser jahraus jahrein sich konserviert, und es gilt, in jedem Einzelfalle die Gründe für solche Dauerhaftigkeit von Schnee und Eis an Orten, welche oft sehr tief unter der Schneegrenze gelegen sind, zu ermitteln.

§. 2. **Der Schnee als geographischer Faktor.** An dieser Stelle kommt es ersichtlich nicht mehr auf die Feststellung der meteorologischen Bedingungen an, unter welchen Schnee fällt; auch die spezifisch klimatologische Seite des Problemes kann als durch die früher schon (S. 274) herangezogene Arbeit H. Fischers [1] über die äquatoriale Schneefallsgrenze erledigt angesehen werden. Wohl aber tritt jetzt eine neue Frage in den Vordergrund: Wie muss eine Gegend beschaffen sein, um die Bildung einer kompakten, nicht sofort wieder vergehenden Schneedecke zu begünstigen? Dass man auch in älterer Zeit solchen Erwägungen nicht ganz fremd gegenüberstand, beweisen die Mitteilungen von Muncke [2], der aus der damals vorhandenen Litteratur eine Menge von Beobachtungen über ungewöhnlich starken Schneefall u. s. w. sammelte und diskutierte. Konsequent durchgeführt sind jedoch solche Studien erst von Ratzel worden, und es kann so nicht fehlen, dass die Schrift [3], in welcher derselbe die Früchte längerer Forschung niederlegte, auch den Inhalt dieses Paragraphen in erster Linie mit bestimmt.

Obwohl, wie jedermann weiss, der Schneefall zeitlich auf den Winter beschränkt zu sein pflegt, so kommen doch, wie Ratzel [4] an authentischen Belegen feststellt, gelegentlich auch im Frühsommer und Frühherbst im Bereiche deutscher Zunge feste Niederschläge vor. Der von Friedel [5] beschriebene entsetzliche Schneesturm, der Mitte Juli 1890 Nordtirol heimsuchte und in der Vegetation eine grauenvolle Verwüstung anrichtete, steht in der Geschichte vereinzelt da. Zur Bildung einer Schneedecke kann es selbstverständlich nur in der kalten Jahreszeit kommen, und zwar müssen, damit eine solche zu stande komme, die Winterniederschläge langsam erfolgen [6]; für gewöhnlich bedarf es auch des Zusammenwirkens einer ganzen Anzahl von Schneefällen, damit die Schneelagerung eine gewisse Konsistenz gewinne. Dabei treten auch noch andere Faktoren in Mitwirkung; „die Schneedecke wird in Mitteleuropa mehr als irgendwo als ein gemeinsames Werk der Schneefälle und Regengüsse, des Frostes und Sonnenscheines, der Verdunstung und der Reifniederschläge zu betrachten sein“ [7]. Je häufiger die von Rodler [8] studierten Schwankungen um den Frostpunkt eintreten, um so mehr Gelegenheit ist zur Herausbildung festerer Schichten innerhalb der lockeren

Schneemasse gegeben; zuletzt bekommt diese dann auch noch eine tragfähige Oberfläche, und in diesem Zustande wird sie, wie dies Partsch [9] mit besonderer Beziehung auf das böhmisch-schlesische Grenzgebirge ausführt, wie es aber auch für die erst im Winter wegsam werdenden Länder des hohen Nordens gilt, zur bequemen Verkehrsbahn. Den unmittelbaren Einfluss des Tauwetters untersuchte P. Wagner [10]. Sei es durch Regen oder Steigerung der Lufttemperatur bedingt, immer bewirkt es, dass Schmelzwasser in die Tiefe sickert; die Erde saugt sich damit an, die unteren Schneelagen verlieren allmählich ihr Porosität. Wenn jetzt noch Regen fällt, so kann er weder in das Erdreich, noch in den Schnee eindringen, fliesst oberflächlich ab und gibt Anlass zu Ueberschwemmungen. Auch Windrichtung und Windstärke machen sich bei der Ablagerung des Schnees geltend [11]; unter der Einwirkung der bewegten Luft bilden sich die Schneewehen, welche dann, wenn ein Bodenhindernis die wirbelnde Masse zu vorübergehender Verlangsamung ihrer Bewegung zwingt, in Schneedünen übergehen. Diese wollen völlig unter dem gleichen Gesichtspunkte, wie die Sanddünen (S. 615) betrachtet werden. Als „Sandbänke im Luftmeere" bezeichnet dieselben Volger [12]. Mit den Schneedünen, für welche der sanfte Abfall auf der Leeseite, der steile Abfall auf der Luvseite charakteristisch ist, sind die Schneegangeln der Alpen nicht zu verwechseln, Schneewellungen von regelmässig-symmetrischem Profile, welche als Sastrúgi (Singular Sastrúga) den Wanderer durch die pfadlosen Schneewüsten Sibiriens leiten, weil ihre Kammrichtung auf der herrschenden Windrichtung senkrecht steht. Der sibirische Eingeborene richtet sich nach dem Zuge der Schneefaltung ebenso, wie der Mikronesier (S. 358, 446) den Winkel sich gemerkt hat, unter dem er, um sein Reiseziel zu erreichen, die konstante Dünungsrichtung durchkreuzen muss. Die Reiseschilderungen v. Wrangels [13] geben hierüber näheren Aufschluss, und auch anderweit hat sich [14] die Polarlitteratur jenes Ausdruckes bemächtigt.

Im Mittelgebirge bleiben da, wo sich die fast nie fehlenden geschützten Stellen bieten, Schneeflecken auch noch während der wärmeren Monate liegen. Gerade dann kann der Reif, von welchem in Deutschland nur die Zeit der Hundstage ganz frei bleibt, seine metamorphosierende Wirkung (S. 25) auf die Schneeoberfläche ausüben, mit deren Konsequenzen sich Ratzel [15] besonders eingehend beschäftigt hat. Auf krustigen Schnee machte vielleicht zuerst Hugi [16] aufmerksam; er ist eben ein Resultat der Reif- und Rauhfrostbildung.

Besondere Schneefärbung ist das Ergebnis zufälliger Umstände. Den sogenannten roten Schnee — man denke an die nach dem Vorschlage von John Ross diesen Namen führenden Karmesinklippen in Nordwestgrönland [17] — hat Ehrenberg [18] mikroskopisch geprüft und als häufige, wiewohl nicht einzige, Ursache eine Menge kleiner Algen gefunden, deren Zellinhalt einen rötlichen Farbstoff enthält. Sphaerella nivalis, die typische Schneealge, kommt nach Heim [19] fast auf der ganzen Erde vor, mangelt aber gänzlich frischem Schnee. Auch andere Lebewesen können dem Schnee eine eigentümliche Färbung verleihen, wie denn z. B. R. Klein [20] berichtet, dass frisch gefallener Schnee über und über mit kaffeebraunen Insektenlarven bedeckt war. Wesentlich anorganische Bestandteile waren es, welche nach Hampes Analyse [21] einer im März 1898 zu Clausthal entstandenen Schneedecke eine „lachsfarbene" Oberfläche verliehen; aller Wahrscheinlichkeit nach ist es Vulkanstaub gewesen, der (I, S. 411) weit fortgeführt worden war.

Auch der Ingenieur hat auf die Schneeverhältnisse zu achten, welche für die Anlage und Erhaltung von Kunststrassen und Eisenbahnen nicht unwichtig sind. Derselbe ist an der Einrichtung eines Schneekontrolldienstes, wie ihn C. Lang [22] z. B. in Bayern eingerichtet hat, wesentlich interessiert. Schneewächten, wie sie als überhängende Ränder gar oft über den Bahnkörper hereinragen, können diesen leicht verschütten, und es hat sich somit die Notwendigkeit eigener Arbeiten für Schneeschutz ergeben, welche Schubert [23] in ein System gebracht hat.

Der Schnee, welchen wir bisher ausschliesslich behandelten, unterscheidet sich, als Schnee der Niederungen und Mittelgebirge, in seinem physikalischen Verhalten nicht unerheblich vom Hochschnee, der weit pulveriger ist und folglich auch (vgl. S. 40) ein relativ geringes spezifisches Gewicht aufweist [24]. Dieser Hochschnee aber verwandelt

sich durch molekulare Umformung in namhafter Meereshöhe bald in einen ganz anders gearteten Körper, der zumeist nur in engster Verbindung mit den Gletschern betrachtet wird, zweifellos jedoch auch das Recht besitzt, ein selbständiges Untersuchungsobjekt der physischen Geographie zu bilden. Dies ist [25] der Firnschnee oder kurzweg Firn (franz. névé) des Hochgebirges.

§. 3. **Firn, Firnboden, Firnfleckenlandschaft.** Die erste bewusste Unterscheidung des Firns vom Schnee scheint Charpentier [26] anzugehören, und bald nach ihm haben die Gebrüder Schlagintweit [27] sich über die Eigenart des Firns — es wird zwischen „haut-névé" und „bas-névé" ein Unterschied gemacht — in einer ganz an den modernen Standpunkt gemahnenden Weise ausgesprochen. Die Umwandlung des Schnees in Firn kann längere Zeit erfordern, unter Umständen aber, wenn die Luftwärme gross genug ist, in ein paar Stunden erfolgen. Wie auch der Schnee, als er fiel, beschaffen gewesen sein mag, der Firn, in den er nachgerade übergegangen ist, hat ein von der ursprünglichen Zusammensetzung unabhängiges, völlig gleichartiges Aussehen.

Auch L. v. Buch darf, wie aus der von C. Gruber [28] gegebenen Analyse der bezüglichen Reiseskizzen zu schliessen, unter den ersten aufgeführt werden, welche ein Mittelding zwischen Schnee und Gletschereis interpolierten. Der grosse Naturforscher hatte die sogenannte Eiskapelle am Königs-See besucht, den damals noch bestehenden Thoreingang 600 Fuss weit durchschritten und die Ueberzeugung gewonnen, dass man es da zwar mit einem sehr gletscherähnlichen Gebilde, nicht aber mit einem echten Gletscher zu thun habe.

Firn ist nicht so blendend weiss, wie wirklicher Schnee, auch schwerer schmelzbar und vom Winde nicht leicht fortzuwehen. So ist der Schmelzrand des Neuschnees, der eine Firnfläche bedeckt, meist sofort zu erkennen. Der metamorphische Prozess ist noch nicht ganz aufgehellt; indessen darf zweifellos eine Bedingung als die wesentlichste angesehen werden, nämlich rasche Folge von Tauen und Wiedergefrieren. „Der Firn ist in gewissen Beziehungen fast" — vgl. S. 679 — „ein oolithisches, lockeres Eis, vergleichbar den Eisenoolithen, Bohnerzen, Kalkoolithen u. s. w." [29].

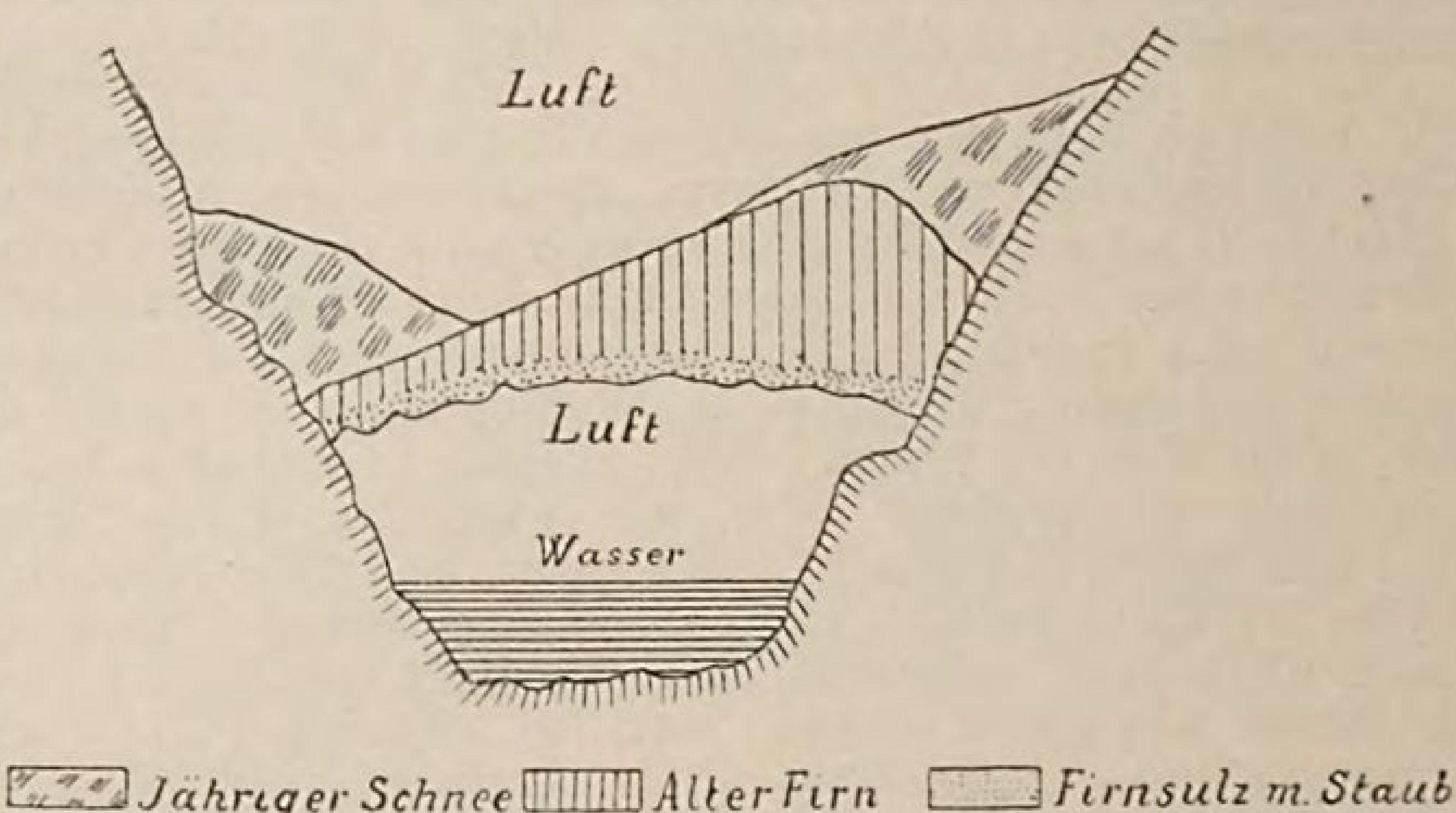
Die Firnmassen befinden sich natürlich vorwiegend in den flachen Mulden, an welchen die höheren Gebirgsregionen so reich sind. Doch ist dies keineswegs eine unerlässliche Voraussetzung; Firnansammlungen können sich vielmehr auch auf konvexem Terrain bilden, und so kann man M. Gebhardt recht geben, wenn er das hochalpine Gebiet, von welchem die Gletscher ausgehen, als Firnboden bezeichnet und nachstehende Abgrenzung eines dadurch gekennzeichneten Teiles der Landoberfläche in Vorschlag bringt [30]: „Der Firnboden eines Gletschers ist diejenige höchst gelegene Abteilung des ihn tragenden Berges, welche nach oben zu, beziehungsweise auch seitlich durch emporragende oder unter dem Firn deutlich erkennbare Felsgrate, nach unten zu dagegen durch eine Linie begrenzt wird, die als Projektion einer in der Nähe der klimatischen Firngrenze gedachten Kurve auf dem Felsmassive verläuft." Gebhardt sondert [31] die konvex gewölbten Firnbögen von den konkav gewölbten und weist der zweiten Klasse die Firnflächen der europäischen und neuseeländischen Alpen zu, während er als Haupttypen seiner ersten Klasse Grönland-Spitzbergen, die meisten skandinavischen und Kordilleren-Vorkommnisse und endlich eine Uebergangsform zwischen norwegischem und alpinem Verhalten stipuliert. Als einen ganz besonderen Fall soll der Firn des Kilimandjaro angesehen werden, welcher den Mitteilungen seines ersten Besteigers zufolge [32] den gigantischen Dom dieses Berges (I, S. 400) als enge anliegende Kappe überdeckt. Nur der Kibo trägt eine solche; der andere Gipfel, der Mawensi, ist zu niedrig und muss sich mit einzelnen in den Spalten und Löchern seiner Gehänge verstreuten Firnpartien begnügen. Neuerdings fand H. Meyer (G. Z., V, S. 209 ff.) am Kibo auch echte Gletscher.

Für solche kleinere, mit dem eigentlichen Firnboden nicht zusammenhängende Firnmassen ist die Bezeichnung Firnfläche gebräuch-

lich geworden [33]; jene unregelmässige Zwischenzone zwischen dem Bereiche der Firnböden und dem im Sommer vollständig aperen, d. h. schnee- und eisfreien Gebiete grösserer Tiefe wird wohl Firnfleckenlandschaft genannt. Ratzel trennt die vorübergehenden von den dauernden Firnflecken, welch letztere auch wieder morphographische Abweichungen erkennen lassen, je nachdem sie in wassergefüllten Schluchten oder, was im Karwendelgebirge häufig ist, als Ränder von Schutthalden oder endlich im Schutze von Felsschroffen auftreten. Auch die Schuttverhältnisse wollen beachtet sein, weil sie durchaus nicht bei allen Firnflecken übereinstimmend sich verhalten.

Wenn eine Firnmasse durch einen Bach erodiert wird, so kann es wohl geschehen, dass der untere Teil der Zerstörung anheimfällt, während der obere als Firn- oder Schneebrücke intakt erhalten bleibt (vgl. Fig. 144). Staub und organische Reste (s. o.) fehlen dem Firn ebensowenig, wie dem Schnee des Flachlandes [34]. Von der Verbreitung der Firnflecke in der Landschaft hängt es

Fig. 144.



teilweise ab, wie das Schuttmaterial sich ablagert [35]; es wird durch erstere sozusagen passiv den Zerstörungsresten des anstehenden Gesteines der Ort angewiesen, an welchem sie sich zu sammeln haben, und auch aktiv kann, wie Pencks lehrreicher Aufsatz „Oberflächenbau“ andeutet [36], der in steter Veränderung begriffene Firn Ortsveränderungen der Steintrümmer zuwege bringen. Auch die Quellen sind, worauf Kap. IV zurückkommen wird, häufig an Firnflecke gebunden [37], und alsdann sind dieselben auch natürlich nicht gleichgültig für die Entwicklung der Wasserläufe. Bei Temperaturen über Null sind die Körner, aus denen sich der Firn zusammensetzt, und welche bei grösserer Kälte als Individuen derart verschwinden, dass man nur eine lückenlose Masse vor sich zu haben glaubt, durch Feuchtigkeit und Luftblasen, wie durch einen Zement, miteinander verbunden [38]. In dem Maſse, wie dieser Kitt schwindet, wird der Firn zum echten Eise; in §. 7 wird der Vorgang näher erörtert werden.

Firnbildung ist nicht durch innere Gründe auf das wirkliche Hochgebirge beschränkt, sondern wird, wenn die von Ratzel [39] gesammelten Mitteilungen den Thatsachen entsprechen, auch in Mittelgebirgen angetroffen. Einen temporären Gletscher hat sogar Collomb [40] in den Vogesen gesehen. Ein ziemlich mächtiges Firnfeld war an seinem unteren Ende bereits mit Schichten echten Eises durchsetzt, allein bis zum Endresultate der Bildung homogenen Gletschereises war es nicht gekommen.

§. 4. Die Schnee- oder Firngrenze. Es ist nunmehr an der Zeit, uns genauer mit der Lage der in §. 1 erwähnten Linie zu beschäftigen, welche wir dort unter dem Namen der Schneegrenze kennen gelernt

haben. So einfach, wie man früher annahm, lässt sich dafür eine befriedigende Definition nicht erbringen. Das geht deutlich genug hervor aus einer Monographie von Klengel [41], welche uns zeigt, wie die Vorstellungen im Laufe der Jahre schwankten und erst allmählich sich befestigten.

So lange man, wie dies bis zu Saussures Zeit der Fall war, Schnee- und Frostgrenze für identisch ansah, war die Bestimmung derselben eine leichte Sache. Bouguer, der (I, S. 152) durch seine südamerikanische Reise mit der Thatsache selbst vertrauter geworden war, definierte [42] den „terme inférieur constant de la neige" als Schnitt der Landoberfläche mit der Jahresisotherm-fläche Null. Aus seiner Ausdrucksweise muss man schliessen, dass er an das Vorhandensein einer doppelten Schneegrenze dachte, und so war es auch; oberhalb der postulierten oberen Grenze sollte absolute Lufttrockenheit herrschen. Das gleiche Problem für die Alpen nahm zunächst Gruner [43] (I, S. 22) ernstlicher in Angriff, und Lambert [44] glaubte die Höhe der Schneegrenze als Funktion der geographischen Breite darstellen zu können — ein Irrtum, der noch lange nicht aus der Wissenschaft verschwand. Erst Saussure ging daran [45], die Frage zu individualisieren, in ihre Teile zu zerlegen, indem er allenthalben die Seehöhe der Schneegrenze mass und die ihren Verlauf regelnden besonderen Faktoren auszumitteln suchte. Auf Spekulationen über die Lage der Schneelinie liess er sich wenig ein, aber an Beobachtungen brachte er einen reichen Stoff bei, und wenn man auch nach ihm noch an der Existenz einer idealen Schneegrenze festhielt, so wusste man doch, dass man dieselbe nicht mit der Linie, für deren sämtliche Punkte die mittlere Jahrestemperatur den Wert Null annimmt, identifizieren durfte. Was Saussure für die Alpen war, das bedeutet für die Pyrenäen Ramond [46], der für die Höhe der Schneegrenze in letzterem Gebirge einen recht leidlichen Mittelwert (Nordabhang 2630 m statt des jetzt angenommenen Wertes 2730 m) berechnete. In ein neues Licht wurde die Lehre von der Schneegrenze gerückt, als Wahlenberg [47] den Verlauf der Schneegrenze mit demjenigen der Vegetationsgrenzen zu vergleichen lehrte; damit war ganz von selbst die meteorologische Seite der Sache mehr denn früher hervorgehoben, und gleicherweise konnte L. v. Buch, als er [48] für die tiefe Senkung der Schneezone an der norwegischen Küste die Bedingungen aufsuchte, das analoge Herabsteigen der Baumgrenze betonen; freilich verfuhr er wieder zu schematisch, wenn er den Abstand zwischen der Schneegrenze und jener Linie, oberhalb deren keine Birken mehr vorkommen, für so gut wie konstant (578 m) erklärte. Dafür bahnte v. Buch auch reelle Fortschritte an; „ausser den meteorologischen Verhältnissen macht er im Sinne Saussures auch die Form des Gebirges, die Ausdehnung seiner Oberfläche, kurz seine Massenhaftigkeit als bedingenden Faktor der Schneegrenze, der für Skandinavien ganz besondere Bedeutung habe, geltend" [49]. In noch höherem Maſse erkannte Humboldt [50] die Vielgestaltigkeit der Einflüsse, von deren Zusammenwirken die momentane Schneelinie abhängig erscheint, und durch seine Darlegung, welche gleicherweise das klimatologische wie auch das orographische Element zu seinem Rechte gelangen liess, wurde in der Hauptsache jene Auffassung angebahnt, welche bis vor kurzem die Lehrbücher souverän beherrschte und, wiewohl manche Verbesserungen nicht ausbleiben konnten, in ihrem Grundzuge stets fortbestehen wird.

Lamberts theoretische Bestrebungen (s. o.) wirkten auch in der Folgezeit noch nach. So glaubte D'Aubuisson [51], dass, wenn φ die Polhöhe, t die — in Teilen der Réaumur-Skale (S. 50) angegebene — Mitteltemperatur eines unter gleicher Breite im Meeresniveau gelegenen Ortes sei, die Höhe H der Schneelinie durch eine der beiden folgenden Formeln in Meter ausgedrückt werden könne:

$$H = 200\,(t + 2{,}4) = 4320 \cos^2 \varphi + 500.$$

Ausgehend von dem von Tob. Mayer dem Aelteren [52] für die Mitteltemperatur eines Ortes aufgestellten Ausdrücke, setzte Hällström [53] $H = a + b \sin \varphi + c \sin^2 \varphi$ und ermittelte die Erfahrungskoeffizienten a, b, c nach der Methode der kleinsten Quadrate (S. 81), indem er eine stattliche Beobachtungsreihe verwertete, zu welcher ausser den schon genannten Autoren noch De la Condamine [54], Ali Bey [55] und Parrot [56] beigesteuert hatten. So ist denn auch Hällströms Tabelle, welche für die meisten Erdgebirge die Werte von H zusammen-

stellt, nicht ohne einigen Wert. Auch von Leslie, Kirwan u. a. wurde dieser Kalkul gepflegt [57], und nicht minder legte noch später Kämtz [58] den empirischen Formeln einen gewissen Wert bei.

Mehr und mehr aber überzeugte man sich, dass nicht theoretische Erörterung, sondern die Gewinnung und Sichtung von Beobachtungsthatsachen die wichtigste Pflicht sei. Sehr zuverlässige Höhentafeln wurden durch H. Berghaus im „Geogr. Jahrbuch" mitgeteilt [59]; auch Grad versuchte [60] eine übersichtliche Gruppierung des ihm bekannten Stoffes für 40 Gebirgsländer.

Eine absolut unveränderliche Schneeregion, wie sie sich die älteren Geophysiker gedacht haben, gibt es nicht. Sehen wir auch von den morphographischen Eigentümlichkeiten der Gebirgshänge ab, welche den Zug der Schneegrenze gar nicht unbedeutend beeinflussen, so sind doch Temperatur und Niederschlagsmenge, die beiden klimatischen Elemente, welche zu allererst in Betracht kommen, sehr wechselnde Grössen, und so kann sich auch der Kreislauf des atmosphärischen Wassers, wie ihn Güssfeldt [61] speziell für die Hochregionen erläutert hat, nicht immer an der gleichen Stelle in der gleichen Weise vollziehen. Das, was wir als Schneegrenze bezeichnen und tabellarisch festlegen, ist immer nur ein Mittelwert, um so verlässiger, aus einer je grösseren Jahresreihe er abgezogen ist. Gewiss kommt auch nicht ganz allein die Lufttemperatur in Frage, aber ebensowenig kann Stapffs These [62], die Isogeotherme (I, S. 330) von 0° habe eine annähernd konstante Lage, als gesichert gelten. Allerdings geht aber auch Payer zu weit, wenn er [63] das Dasein einer Schneegrenze überhaupt verneinen will. Es bleibt vielmehr eine wirkliche Schneelinie unter allen Umständen bestehen, die freilich nicht im strengsten Sinne kontinuierlich verläuft, sondern, um Supans Erklärung [64] wiederzugeben, Firnfeld an Firnfeld reiht und im Sommer das vorwiegend schneebedeckte Gebiet der höheren Lagen von dem vorwiegend schneefreien Gebiete der tieferen Lagen scheidet.

Zunächst geht aus unseren Betrachtungen hervor, dass die trockene Seite eines Gebirges eine viel höher hinaufgerückte Schneegrenze aufzuweisen haben wird, als die stärker befeuchtete. Einen trefflichen Beleg hiefür liefert der nördlich an das extrem trockene Tibet, südlich an die tropisch-feuchte indische Ebene stossende Himálaya. Die Zahlen, welche H. Schlagintweit [65] für Nord- und Südabhang des Gebirges gibt, sind resp. 5671 und 4930 m; beim Küen-Lün liegen die Verhältnisse ähnlich, indem nur der Gegensatz zwischen Nord und Süd verkehrt, aber zugleich ein weit weniger scharf ausgesprochener ist, und so sind dortselbst nach jener Quelle die Zahlen 4604 und 4817 m. Gleicherweise gibt Stebnitzki an [66], dass im nördlichen Kaukasus, der durch trockene, aus der Steppe kommende Nordwinde bestrichen wird, die Schneegrenze 300 bis 450 m höher verschoben erscheint. Ueber die in Amerika vorgenommenen Messungen orientiert vortrefflich eine Abhandlung von Schwarze [67]. Als charakteristisches, auch in einem Koordinatenschema niedergelegtes Merkmal der südamerikanischen Verhältnisse wird das hingestellt [68], dass nordwärts vom Aequator nur eine sehr langsame Höhenabnahme stattfindet, dass gegen Süden zu dann ein rasches Steigen (bis zu 6000 m) zu konstatieren ist, und dass vom südlichen Wendekreise ab ein erst sehr rapider, allgemach aber immer langsamer werdender Abfall bemerkbar wird. An der Magellanstrasse sinkt die Schneelinie auf etwa 800 m. Die Frage, ob der ewige Schnee irgendwo an den Meeresspiegel herabreiche, so dass also von einer Schneegrenze in 0 m Höhe zu sprechen wäre, entschied A. Erman [69], jedoch nur auf die vorerwähnten, unzuverlässigen Formeln hin, in positivem Sinne, allein die früher (I, S. 333) berührte Thatsache, dass selbst noch an der unteren Kolyma sommerlicher Baumwuchs nicht unerhört ist, liess wenigstens Sibirien gänzlich aus diesem „toten Erdraume" ausscheiden. Klengel hat die einschlägige Litteratur sorgfältig durchmustert und

sieht sich zu dem Schlusse geführt [70]: „Dass die klimatische Schneegrenze auch unter den höchsten bisher erreichten Breiten noch beträchtlich über dem Meeresspiegel liegt, das können wir im Hinblick auf die Resultate der neueren und neuesten Polarfahrten wohl mit Sicherheit annehmen.“ Gewiss, so berichtet P. Vogel [71], reicht das ganze Jahr hindurch gelegentlich der Schnee bis zum Ufer an der Nordküste der Insel Süd-Georgien, allein wenn man sich an die fundamentale Definition hält, dass längs der Schneegrenze im Sommer eben so viel Schnee geschmolzen wird, als im Winter fällt, so ist deren Durchschnittshöhe ungefähr gleich 700 m. Eine von Penck [72] ausgearbeitete Uebersicht über die bestimmten Polhöhen zugehörigen Maximal- und Minimalhöhen der Schneelinie möge sich hier anschliessen:

Geographische Breite	Maximalhöhe in Metern	Minimalhöhe in Metern
70°—60° n.	Oestliches Norwegen 1630	Alaska 760
60°—50° „	Sibirien 3230	Westliches Norwegen 1360
50°—40° „	Kaukasus 3810	Mount Baker (Nordamerika) 1590
40°—30° „	Karakorum 5910	Taurus 2920
30°—20° „	Himálaya 5300	Gebirge von Birma 3700
20°—10° „	Popocatepetl 4900	Pik von Orizaba 4280
10°—0° „	Tolima (Columbien) 4700	Pan de Azucar (Anden) 4420
0°—10° s.	Chimborazo 5050	Cotopaxi 4510
10°—20° „	Sajama 5920	Illimani 4760
20°—30° „	Anden oberhalb von Atacáma 6000	Oestl. chilenische Kordilleren 4500
30°—40° „	Aconcagua 4480	Villaria 1600
40°—50° „	Neu-Seeland 2380	Kerguelen-Archipel 300
50°—60° „	Feuerland 1220	Süd-Georgien 550 bis 700.

Für unsere Alpen sind vor allem die Veröffentlichungen v. Kerners [73] und E. Richters [74] zu Rate zu ziehen. Aus letzterem Werke sollen einige Höhen hier eine Stelle finden: Nördliche Kalkalpen 2500, Silvretta-Gruppe 2650, Ortlergebiet 2900, zentrale Hohe Tauern 2600, Adamello-Gruppe 2800, Marmolata 2650 m.

Unsere Ausführungen lassen darüber keinen Zweifel, dass alle Methoden, die Schneelinie festzulegen, nur einen approximativen Wert beanspruchen wollen. Brückner [75] empfiehlt als ein gutes Hülfsmittel für gedachten Zweck die von ihm ermittelte Beobachtungsthatsache, dass mindestens drei Viertel des Gletscherareales oberhalb und nur ein Viertel unterhalb der Schneegrenze zu liegen kommen. Um für die Eisperiode die Lage dieser wichtigen Linie zu erforschen, bedienten sich Partsch [76] und Penck [77] eines — nach Brückner [78] — bereits bei F. Simony nachzuweisenden Verfahrens, dessen Berechtigung Hoefer [79] an rezenten Gletschern erkannt hat. Die Höhe der Schneegrenze fällt ziemlich genau mit dem arithmetischen Mittel aus den Höhen der Firnfeldumrandung und des unteren Gletscherrandes zusammen. Diese Richtschnur beobachtend, hat Penck (a. a. O.) seine schöne Karte der Isochionen (χιών, Schnee) oder Linien gleicher Schneegrenzenhöhe für das rezente und diluviale Europa konstruiert. Kurowski will [80] die mittlere Höhe eines Gesamtgletschers (Firn und Abschmelzungsgebiet zusammengenommen) als Höhe der der fraglichen Orte entsprechenden Schneelinie betrachtet wissen.

In eingehender Kritik der üblichen Anschauungen hat Ratzel [81] den Nachweis geführt, dass meistenteils zwei nicht gleichartige Begriffe nur ungenügend auseinandergehalten wurden, zwischen denen deshalb eine reinliche Scheidung zu erfolgen habe. Dies sind die klimatische und die orographische Schneegrenze oder — wie Ratzel aus den durch §. 3 geklärten Gründen zu sagen vorzieht — Firngrenze. Diese Zweiteilung ist durchweg von den Fachmännern, wir wollen nur E. Richter [82] und Hann [83] namhaft machen, als berechtigt an-

erkannt worden. Die aus §. 3 bekannte Firnfleckenlandschaft oder Firnfleckenregion ist damit gleichfalls topographisch bestimmt; sie nimmt eben den zonalen Raum zwischen der klimatischen und orographischen Firngrenze ein.

Alle die gewöhnlichen Berechnungen haben ausschliesslich die Schneegrenze ersterer Art zum Zwecke. Die tiefer liegende orographische Grenze setzt alle die unregelmässig verteilten Firnflecke und Firnfelder untereinander in Verbindung, deren Tiefenlage infolge der besonderen Eigenschaften des Gebirgsabhanges, dem sie angehören, eine sehr niedrige ist. Reste von Lawinenstürzen brauchen, wie Ratzel ausdrücklich betont [84], nicht mit einbezogen zu werden; ihr augenblicklicher Ort ist ein zufälliger. Man kann mit gutem Grunde den hier begründeten Gegensatz zu demjenigen in Parallele stellen, welcher zwischen Baum- und Waldgrenze obwaltet, denn dass jenseits letzterer, und sogar in ziemlicher Entfernung von ihr, noch einzelne wetterharte Baumrecken ausdauern können, haben wir oben (S. 321) erfahren. Nur sind in beiden Fällen die Vorposten nach entgegengesetzten Seiten hinausgeschoben. Die Schneetemperatur, welche zwar nie über Null hinausgehen, aber doch höher als die umgebende Lufttemperatur werden kann [85], wird natürlich für die Erhaltung einer unteren Terrain-Schneegrenze nicht gleichgültig sein, und eben weil der Firn (vgl. S. 717) ein Schuttsammler ist [86], kann er hiedurch an seiner Selbstvernichtung arbeiten; ein Firnfetzen verschwindet, und mit seinem Vergehen ändert auch die orographische Kurve ihren Zug.

Dauernde Verlegungen der Schneelinie ausser Zweifel zu setzen, ist eine überaus schwierige Sache, gerade so wie auch eine Fixierung vertikaler Verlegung anderer Höhengrenzen nur mit äusserster Vorsicht erfolgen darf [87]. Die Menge der Fehlerquellen ist eine allzu erhebliche. Wir werden deshalb gut thun, den Gegenstand auch nur im engsten Zusammenhange mit den Gletscherschwankungen zu besprechen.

§. 5. **Lawinen.** In §. 1 ward ausgeführt, dass die Schneegrenze — und zwar jede der beiden Arten — durch Lawinensturz gewaltsam überschritten wird. Als Lawine ist schlechtweg gemeiniglich eine fallende Schneemasse gemeint; genauer betrachtet, sollte man Schnee- und Staublawinen auseinanderhalten. Ein schweizerischer Forstmann, Coaz, hat aus reicher Erfahrung heraus die erste selbstständige Schrift [88] über diese grossartige Naturerscheinung verfasst, und aus ihr muss einstweilen jede Schilderung schöpfen. Eine mit manch neuer Wahrnehmung und Erkenntnis bereicherte Bearbeitung ersterer stellt das bezügliche Kapitel [89] in Heims grossem Werke dar.

Die Etymologie des Wortes deutet auf romanischen Ursprung, von labor (ich falle, gleite), hin (schweizerisch-mundartlich Laui oder Löwene; tirolisch-mundartlich Lähn; franz. avalanche; ital. avalanga oder, dialektisch, luvina). Keinem steil geböschten Gebirge fehlen die Lawinen ganz, und wenn aus den Mittelgebirgen nur selten etwas von solchen Vorkommnissen verlautet, so hat man das eben darauf zurückzuführen, dass die Berghänge nur sanft ansteigen. Das Fliessen des Schnees auf Dächern, dessen Ursache Volger [90] diskutiert und in Dichteänderungen im Inneren der hoch aufgespeicherten Schneemassen gefunden hat, vermag Miniaturlawinen herbeizuführen, die in den Strassen der Städte immerhin unangenehm genug werden. Beispiele wirklichen, zum Teile sogar von grossem Schaden begleiteten Lawinensturzes aus dem Schwarzwald, den Vogesen und sogar dem Thüringerwald finden sich bei Ratzel [91] citiert; am 2. Februar 1844 wurden im erstgenannten Gebirge 17 Menschen verschüttet und getötet. Irgend welche sichere Vorzeichen meteorologischen Charakters kennen auch die am schwersten betroffenen Alpengegenden nicht, doch verdient immerhin angemerkt zu werden, dass nach Dufour die Mönche vom Grossen St. Bernhard die regelmässige Warnung ausgehen lassen, ihren Berg bei andauernd bedecktem Himmel zu überschreiten.

Man unterscheidet Grundlawinen, dadurch gekennzeichnet, dass der Schnee am Hange herabfällt, und Staublawinen („Snöfloder“ in Island), welche

aus trocken-pulverigem Schnee bestehen und oft frei die Luft durchmessen [92], nicht selten einen starken Luftzug auslösend, der die jähen Luftdruckunterschiede ausgleichen muss und durch seine Aspirationswirkungen sehr gefährlich werden kann. Zumal Waldverwüstungen werden häufiger durch Staublawinen hervorgebracht, obwohl man mitunter auch an einer geradlinigen Schneisse, längs deren alle Bäume abgedrückt sind, den Weg einer Grundlawine verfolgen kann. Diese letztere Lawinenform, welche selbst wieder eine Sonderung in Rutsch- und Rolllawinen gestattet [93], eignet dem Frühling, in welchem rasch einfallendes Tauwetter gewöhnlich hoch oben eine kleine Schneemenge loslöst, welche sich dann auf ihrem Wege nach unten stetig vergrössert; auch die bekannte Volkserzählung, dass plötzliches Geräusch zu Lawinenfall Anlass geben könne, entbehrt nicht ganz der Berechtigung. Staublawinen dagegen kommen mehr im strengen Winter vor. Noch vieles ist hinsichtlich der Mechanik des Lawinensturzes unerforscht; Pollak hielt einen sehr instruktiven Vortrag darüber vor der physikalisch-geographischen Sektion der Wiener Naturforscherversammlung (1894) und zeigte darin, dass, wenn durch blosses Abbrechen von Schneeüberhängen oder durch Knalle u. dergl. wirklich Lawinen ausgelöst werden, dann eben die ganze Schneemasse sich bereits im Zustande des labilen Gleichgewichtes befunden haben muss, so dass der minimalste Anstoss ausreichte, den latenten Bewegungszustand in einen aktuellen umzuwandeln. Die Regel ist das aber nicht.

Selbstverständlich ist auch das Rutschen einer Lawine nicht etwa eine gleichförmige Bewegung, sondern in der auf ungleichförmig geformtem und geböschtem Terrain abwärts gleitenden Schneemasse erzeugen ungleichartige Pressungen alle möglichen Agglomeratbildungen. Stösst dann der Lawinenkopf an ein unübersteigliches Hindernis, so nimmt der innere Druck in den unteren Partien zu, die Lawine „schreit“, d. h. man hört knirschende Geräusche, und es bildet sich der Lawinenkegel, der mit 20000 cbm Inhalt noch lange nicht zu den grössten gehört. Fremdkörper, wie namentlich die Gerippe umgekommener Menschen und Tiere, stösst dieser Kegel in dem Mafse aus, als die Schneemasse bei steigender Sommertemperatur zerfällt und sich in einen kotigen Trümmerhaufen verwandelt.

Gelingt es, den Lawinenkegel ganz vertikal durchzuschneiden, wie dies im März 1888 auf dem Brennerpasse geschehen musste, um der Eisenbahn einen Weg durch die niedergegangenen Schneemassen zu öffnen, so kann man sich durch den Augenschein überzeugen, dass der wechselnde Druck, in Verbindung mit den durch die Kompression bedingten Temperaturveränderungen, alle möglichen Zustandsänderungen im Schnee hervorgebracht hat. Man kann alle Modalitäten des Firnes und sogar beginnende Eisbildung wahrnehmen.

Lawinenschutz wird durch den Umstand ermöglicht, dass die Lawinen zumeist ständige, von der Bodenform begünstigte Zugstrassen einhalten. Wer zur Winterszeit die Gotthardbahn befährt, kann eine ganze Anzahl solcher Wege verfolgen, die freilich gelegentlich einmal auch durch neue Linien vermehrt werden. Die Lawinenverbauung erfolgt, wie Heim [94] mitteilt, seit 1867 in der Schweiz in ganz regelmässiger Weise, und zwar sind die Prinzipien dieser Schutzbauten ganz ähnlich jenen, welche wir in Kap. IV betreffs der Wildbachverbauung kennen lernen werden. Auch wird unter allen Umständen den Bannwäldern jene Bedeutung verbleiben, welche Schillers „Tell“ so zutreffend schildert [95], ohne dass der Dichter selbst jemals eine solche Schutzpflanzung gesehen hätte. Doch irrte man früher darin, dass man die Axt ganz ferne hielt, so dass dann Windschlag — von Staublawinen — und Schneeschlag — von Grundlawinen — den verwilderten Beständen weit mehr zusetzte, als wenn sie von Anfang an rationeller Waldpflege teilhaftig geworden wären. Dass solche Kultur gerade für den Bannwald eine Notwendigkeit darstellt, beweist Stichler [96] mit guten Gründen.

Auch Eislawinen und Steinschlaglawinen kennt der Aelpler und mit ihm die Alpinistik. Diese beiden Gattungen von Lawinen sollen weiter unten, jede einzelne für sich, unter den Gletscherkatastrophen mit behandelt werden.

§ 6. **Allgemeines über Natur und geographische Verbreitung der Gletscher.** Den Lawinen sind die Gletscher insofern zur Seite zu stellen, als auch durch sie eine Verbindung zwischen der Schneeregion und dem für gewöhnlich schnee- und eisfreien Unterlande hergestellt wird. Nur ist diese Kommunikation keine gelegentliche, mehr oder minder zufällige, sondern eine dauernde und regelmässige. Gletscher sind perennierende Eisströme, die keinem Hochgebirge gänzlich mangeln und sowohl an und für sich, als auch durch die Wirkungen, die von ihnen ausgehen, zu den bemerkenswertesten Gebilden gehören, deren Studium der Geophysik obliegt.

Nur solche Sprachen ermangeln einer Bezeichnung für Gletscher, in deren Gebiete es, sei es, dass die Gebirge, sei es dass die klimatischen Bedingungen für Eisbildungen grösseren Stiles fehlen, überhaupt nichts Derartiges gibt. „Ueberall auf der ganzen Erde, wo ein zusammenhängenderes Relief in der Schneeregion liegt, entstehen Gletscher; sie sind eine allgemeine Erscheinung.“ So drückt sich Heim aus [97], der auch über die Namen, welche die Gletscher da und dort führen, Auskunft gibt. Die Gebirgler sprechen von Ferner (Tirol), Kees (Pinzgau), Kahr (Kalkalpen); im Französischen heisst der Gletscher glacier (lokal serneille), ebenso im Englischen; im Italienischen ghiacciajo (provinziell auch vedretto oder ruize); im Dänischen sneebrae (isbrae); im Lappländischen jegna; auf Island jökull; bei den Eskimos sermik, so dass sermik-soak das grosse Eisfeld, das grönländische Binneneis bedeutet.

Dem Altertum blieb, obwohl doch die Alpen oft genug überschritten wurden, das Schneegebirge ein unheimliches Mysterium, und auch das Mittelalter hat sich um die Gletscher so gut wie gar nicht gekümmert. Man blieb auf den wohlbekannten Passtrassen und war, wie die zahlreichen Pilgerberichte bekunden, froh, recht bald aus der Welt des Eises wieder fortzukommen. Als erster Autor, der den Dingen wenigstens nicht aus dem Wege geht, ist Sebastian Münster [98] (I, S. 14) zu nennen [99], doch kann bei ihm noch kaum von Gletscherforschung die Rede sein. Diese müssen wir vielmehr im Einverständnis mit Grünwald [100], der nur die Lebenszeit des Mannes nicht richtig ansetzt, bei J. J. Scheuchzer anheben lassen, über dessen hieher gehörige Werke uns R. Wolf [101] am besten orientiert. Ueber die weiteren Etappen ist dann Studers treffliche Monographie [102] als sicherer Ratgeber zu befragen. Ein zeitgenössischer Autor hat wahrscheinlich auch nur insofern Bedeutung, als er von dem Züricher Naturforscher Anregung empfangen hatte; wenigstens berichtet Wolf [103]: „Mit Scheuchzers Ansichten stand der Brief im Zusammenhang, welchen H. Hottinger [1680—1756] an Woodward schrieb, und der eine ‚Montium glacialium helveticorum descriptio‘ enthielt, die im Jahrgang 1705 der ‚Miscell. Acad. Nat. Curios.‘ Aufnahme fand.“ Und hätte Scheuchzer nur das einzige Verdienst gehabt, den damals allseitig verkannten Unterschied von Gletschereis und Krystallen klarzustellen, so wäre das schon anerkennenswert; wir werden aber sehen, dass er noch andere und reellere beanspruchen konnte. Auf Hottinger berief sich besonders der Verfasser des ersten den Gletschern als solchen gewidmeten Buches, Altmann [104]; derselbe fasste sein Wissen in dem der Teleologie seines Zeitalters angepassten Satze zusammen [105]: „Die helvetische Eisberge sind nichts anderes als ein wahrhaftes und in allen Stücken vollkommenes Eismeer, welches von dem mächtigen und weisen Schöpffer auf diese hohe Berge gesetzet worden, damit dadurch die Luft der angrenzenden Oerter gereiniget, und die Schweitz samt noch etwelchen anderen Ländern Europä mit Brünnen und Strömen versehen und bewässert würde.“ Schon wieder etwas höher standen die Gletscherwerke S. Gruners [106], welche insbesondere auch der geologischen Kartierungsversuche (S. 689) halber unsere Beachtung finden müssen [107]. Namhaft förderte das Wissen des Zeitalters H. B. De Saussure, der treffliche Genfer, von dem überhaupt (I, S. 22) die moderne Alpenphysik datiert, und der in seine „Alpenreisen“ eine Fülle neuer Aufschlüsse auch über die glazialen Probleme aufnahm [108]. Im ganzen waren es immer die Westalpen, auf welche sich der Forschungsgeist mit Vorliebe konzentrierte, doch blieben auch die Ostalpen nicht ganz zurück, denen Walcher seine schätzbare Kraft zuwandte [109]. Die erste Hälfte des XIX. Jahrhunderts ist hauptsächlich durch die Namen der Schweizer Hugi, L. Agassiz

und Desor gekennzeichnet; was des erstgenannten Schriften [110], deren eine schon citiert ward, anbelangt, so hat man an ihnen, der stark naturphilosophischen Einkleidung wegen, nicht viel Geschmack gefunden, bis dann neuerdings doch die vielen guten Beobachtungen, welche sich unter jener Hülle verbargen, mehr gewürdigt wurden. Was die Studien, die Agassiz [111] und Desor [112] gemeinsam anstellten, so wertvoll machte, war in erster Linie der Umstand, dass beide es nicht bei flüchtigen Bergbesteigungen und Gletscherwanderungen bewenden liessen, sondern auf dem Aaregletscher eine Sommerstation (Hôtel Neuchâtelois) begründeten, von welcher aus beide Forscher, denen sich noch gleichgesinnte Freunde angeschlossen hatten, die Glazialerscheinungen unter regelrechter Kontrolle hielten [113]. Damit wurde jene neuere Periode der Gletscherstudien inauguriert, in der wir uns zur Zeit noch befinden, und von welcher ein Abschluss noch lange nicht zu erwarten ist, die Periode des Aufsuchens und kritischen Verarbeitens jener Fülle von Einzelthatsachen, die sich mit dem Fortschreiten der organisierten Arbeit unausgesetzt vermehrt.

Bis in das XIX. Jahrhundert herein schweigen die Kompendien von den Gletschern nahezu gänzlich, und auch Munckes Lexikon-Artikel darüber [114] umfasst nur wenige Seiten. Eine musterhafte systematische Uebersicht über das zu seiner Zeit Geleistete gab Mousson [115], trotz der grossen seitdem erzielten Fortschritte noch immer lesenswert. Den ein Jahrzehnt später erreichten Standpunkt markiert trefflich H. Helmholtz' Vortrag [116] „Eis und Gletscher". An der Hochschule hat unter den ersten Friedr. Pfaff die Gletscherkunde durch die Vorlesungen eingeführt, welche er in Erlangen von Zeit zu Zeit über physikalische Geographie der Alpen hielt, und als deren Niederschlag erschien eine Schrift [117], welche wieder ein Dezennium nachher die fraglichen Lehren zu gefälliger Darstellung brachte. Zahlreiche eigene Forschungsresultate machen Tyndalls didaktische und erzählende Schriften [118] zur anziehendsten Lektüre. Als Krönung des Gebäudes darf das auch von uns schon mehrfach benützte Werk Heims (s. o.) gelten, das ob seines streng logischen Aufbaus und der Reichhaltigkeit des Stoffes auch noch für fernere Zeiten als erste Quelle anerkannt werden wird.

Die Gletschergeographie, deren Grundzüge wir im folgenden geben, kann den Umständen gemäss nur eine gedrängte sein; wir halten uns dabei wesentlich an Heim [119]. Dabei soll einmal der Zweck verfolgt werden, den zuvor nur hingeworfenen Satz zu bestätigen, dass in der That das Gletscherphänomen ein allgemein-terrestrisches ist; des weiteren soll der Grund gelegt werden zu einer Gletscherklassifikation, indem gewisse regionale Typen herausgehoben und diesen die einzelnen Individuen untergeordnet werden. Natürlich legen wir, wenn wir uns der bereits durch Saussure (s. o.) eingeführten Terminologie bedienen [120], das Hauptgewicht auf die Gletscher erster Ordnung, welche v. Hochstetter [121] Thalgletscher nannte; eine mehr sekundäre Rolle spielen die auch als Joch-, Hoch- und Hängegletscher bezeichneten Gletscher zweiter Ordnung.

In Europa sind die Alpen das eigentlich klassische Gletschergebiet, und zwar ist es einerseits der östliche Zentralzug, andererseits das Berner Oberland, welche Teile sich durch die grossartigste Gletscherentfaltung auszeichnen. Aber auch die Montblanc-Gruppe weist in dieser Beziehung grosse Perspektiven auf; wir brauchen nur an Euringers trefflich illustrierte Berichte [122] zu erinnern. Findet sich doch hier das berühmte „Mer de Glace", über dessen gewaltigen Anblick, unterstützt durch ein von der „Kluftstation" aus aufgenommenes Vollbild, Tyndall sich [123] enthusiastisch äussert: „Der Gletscher macht hier den Eindruck eines Meeres, das, vom Sturm hin und her gepeitscht, plötzlich zur Ruhe erstarrt." Bemerkt sei, dass der nördlichste Alpengletscher nach E. Richter [124] das „Blau-Eis" am Hochkalter (bei Berchtesgaden) ist, während den südöstlichsten Vorposten das von Marinelli [125] beschriebene „Flitscher Kahr" repräsentiert. In Italien, von den zugehörigen Alpen natürlich abgesehen, kann nur der Aetna als teilweise vergletschert gelten, und das kontinentale Klima der Balkanhalbinsel widerstrebt völlig der Gletscherbildung. Die Pyrenäen besitzen am Nordrande einige kräftige Glet-

scher [126], und kleinere Hängegletscher, die südlichsten des Erdteiles, fehlen auch nicht der ihren Namen mit Recht tragenden Sierra Nevâda [127]. Die Karpathen erheben sich zwar stellenweise über die Schneegrenze, doch ist nach Kolbenheyers Beschreibung [128] nicht einmal die höchste Erhebung, die Hohe Tatra, im Besitze rezenter Gletscher. Ueber die äusserst zahlreichen Gletscher Skandinaviens unterrichtet sehr gründlich Heim [129]. Dass alle polaren Inseln, die man zu Europa rechnet, mit Gletschern reichlich ausgestattet sind, versteht sich von selbst, dagegen fällt das Uralgebirge ausser Betracht, weil zumal der nördliche Teil desselben nicht bis zur Schneelinie ansteigt. Sehr beachtenswerte Studien über die spitzbergischen Gletscher liegen von Durocher [130] vor. Die Eisbedeckung Islands, das ja auch nicht umsonst so heissen konnte, wird schon 1475 in dem zu Lübeck erschienenen „Rudimentum Novitiorum" als eine höchst merkwürdige Thatsache vorgebracht [131], und wirklich ist auch die Vergletscherung eine überaus ausgedehnte. Da aber Island auch (I, S. 405) ein enorm vulkanisches Land ist, so liegen glaziale und eruptive Bildungen dort in buntester Wechsellagerung vor, und das könnte nach Heims Ansicht [132] Gelegenheit zu tieferen Studien über Fragen der Gletscherphysik gewähren.

In Asien kennt man Gletscher von der Zentralkette des Kaukasus, vom Thian-schan und Altai [133]; letzterer hat es freilich nur zu kleinen Hängegletschern gebracht. Weit mächtiger entwickelt sind die Ferner des Pamir-Hochlandes, wo der berühmte Serafschangletscher nach Geiger [134] eine Länge von 25 km erreicht. Alle Gebirge der Erde aber übertrifft an Massigkeit der Eisentwicklung der Himálaya, obwohl es nicht allenthalben zu eigentlicher Gletscherbildung kommt, mitunter vielmehr nur vereiste Schneemassen ohne eigentliche Gletscherbewegung angetroffen werden [135]. Am Ursprung des Indus (Shayok-Quelle) stiess Shaw [136] auf ein Eismeer, welches demjenigen der Montblanc-Kette in jeder Hinsicht überlegen ist. Die Frage, ob Kamtschatka wirkliche Gletscher zuzuerkennen seien, ist noch offen [137]; wahrscheinlich ragen nur einige isolierte Gipfel tiefer in die Schneeregion hinein und überziehen sich dann ähnlich mit einem Eismantel, wie dies auch bei Ararat, Demawend (I, S. 400) und Fuji-san (I, S. 407) der Fall ist, ohne dass doch deswegen echte Gletscher vorhanden wären.

Afrika ist ausserordentlich gletscherarm. Vom Atlas sind nicht einmal vorzeitliche, noch weniger aktuelle Gletscher nachgewiesen. Immerhin äussert sich Lenz dahin [138]: „Die Gipfel in der Zentralkette sind heute noch den grössten Teil des Jahres mit Schneefeldern bedeckt; ja, man sagte mir, einige Berge hätten beständig eine weisse Kappe." Von Eis starrende Firnmulden tragen zwar (S. 717) Kilimandjâro und Kenia, aber dieses Eis bleibt meist an seinem Orte und manifestiert sich nur zum kleinen Teile (S. 717) als Gletscher.

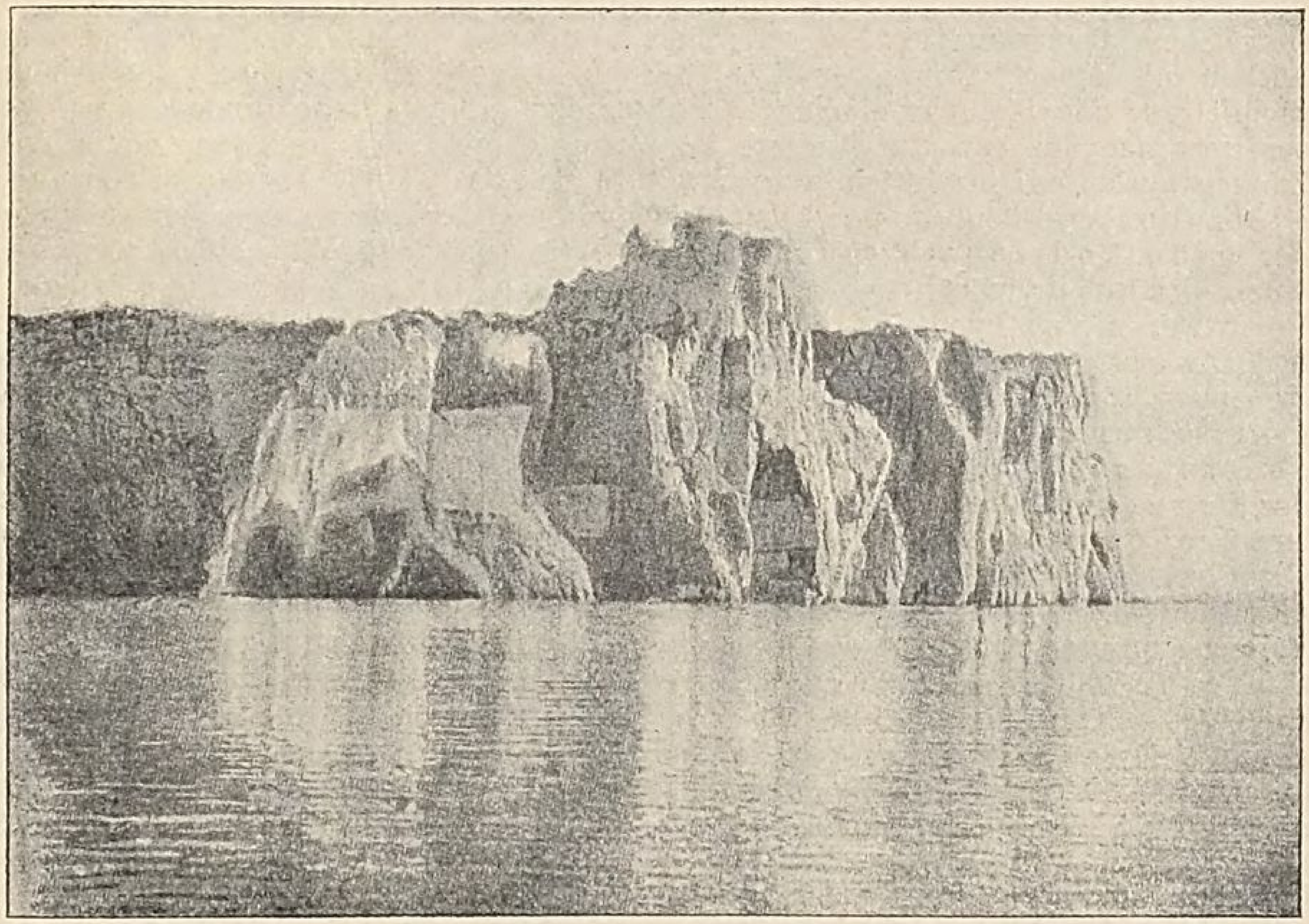
Das Festland von Australien, trocken wie es ist (S. 313), muss von vornherein ausgeschlossen werden, und auch in Ozeaniens feuchtem Klima können sich Gletscher nicht bilden, weil selbst die Riesenvulkane Hawaiis (I, S. 409) nicht die Schneegrenze überragen. Dagegen führen die Neuseeländischen Alpen ihren Namen mit gutem Grunde, denn in ihrem Reichtum an Hochseen und Gletschern kommen sie ganz dem europäischen Schwestergebirge nahe. Den älteren Schilderungen von Haast [139] sind vor kurzem diejenigen von Kronecker [140] gefolgt. Hochstetter-Dom, Hooker- und Tasmangletscher sind ebenso pittoreske, wie physikalisch merkwürdige Bildungen; der letztere, durch v. Lendenfeld [141] genau beschrieben und abgebildet, hat namentlich in seinen Trichterlöchern (Dolinen, vgl. Kap. V) ein ihn auszeichnendes Charakteristikum.

Nordamerikas Osten ermangelt der Hochgebirge und mit ihm der Gletscher; dafür bieten aber die nordwestlichen Kordilleren reichen Ersatz. Im Felsengebirge zwar gibt es, weil es an atmosphärischer Befeuchtung gebricht, nur unbedeutende Gletscher, welche v. Zittel [142] der zweiten und dritten Ordnung zurechnet; dagegen wird das Kaskadengebirge von den feuchten pazifischen Winden direkt betroffen, und so ist z. B. der Tacoma als Gletschermittelpunkt fast ein Unikum, indem von ihm acht regelmässige Zungen nach allen Weltgegenden ausstrahlen [143]. Durch sein gewaltiges Areal ragt hervor der Cornallgletscher, mit dem sich eine sehr bemerkenswerte Studie von Tarr [144] beschäftigt; mauergleich und marmorweiss ragt der „Ice Wall", den unsere Fig. 145 zur Anschauung bringt, aus dem Meere auf. Dieser, wie auch der regional verwandte Malaspinagletscher, wird von uns noch unter dem theoretischen Gesichtspunkte zu betrachten sein. — Steile Thalgletscher erfüllen die Querthäler und Fjorde (S. 604) des südlichen Andenzweiges in Chile [145], indem sie unausgesetzt Eisberge abstossen. „Mehrere grosse

Gletscher steigen," so lautet Darwins Meldung [146] vom Mount Sarniento, „in gewundenem Verlaufe von der oberen grossen Schneefläche nach der Meeresküste herab; man könnte sie mit grossen gefrorenen Niagara-Fällen vergleichen, und vielleicht sind auch diese Katarakte von blauem Eise völlig so schön, wie die sich bewegenden Wasserfälle." Auch im südlichen Patagonien reichen Gletscher bis nahe an den Wasserrand.

Von den arktischen Inseln Europas wurde bereits gesprochen. Sibirien ist gletscherlos, denn „Kälte ohne Feuchtigkeit kann keine Gletscher bilden" [147]; ein gleiches gilt für das arktische Nordamerika, und nur auf der Halbinsel Alaska finden sich Gletscher; indessen wird Eschholtz' wichtige Entdeckung [148] besser

Fig. 145.



erst unten, in §. 15, zur Erörterung gelangen. Ein Gletschergebiet allerersten Ranges ist Grönland, von dessen Vereisung schon ein Hinweis im „Königsspiegel" (I, S. 13) Zeugnis ablegt [149]. Machtvolle Eisströme zweigen sich von dem gigantischen Eiskörper des Binnenlandes ab und ergiessen sich ins Meer; hervorragende Beispiele sind, wie die bezüglichen Berichte von Hayes [150] und Peary [151] darthun, der Humboldtgletscher und der „Foetal Glacier" in der Mac Cormick-Bay. — Die subpolar-antarktischen Inseln, Kerguelen und Süd-Georgien (S. 721), weisen Gletscher auf [152], aber über die Verhältnisse der eigentlichen Südpolarzone lässt sich wegen der allenthalben vorliegenden Eisbarrière (S. 537) kein rechtes Urteil gewinnen. Immerhin geben Frickers Mitteilungen [153] Anhaltspunkte dafür, dass auch Gletscher im üblichen Wortsinne der Antarktis nicht ganz fremd sind.

Unsere geographische Zusammenstellung hat damit ihr Ende und wohl auch den Endzweck erreicht, welcher ins Auge gefasst war. Alle echten Gletscher [154] — so nennen wir die in Bewegung befindlichen Eismassen, deren Längendimension über die Abmessungen der Breite und Dicke beträchtlich vorwiegt — setzen sich zusammen aus einem Nähr- oder Einzugsgebiete (glacier reservoir) und einem Abschmelzungs- oder Ablationsgebiete (glacier d'écoulement), dessen unterster, sich allmählich verengender Teil auch Gletscher-

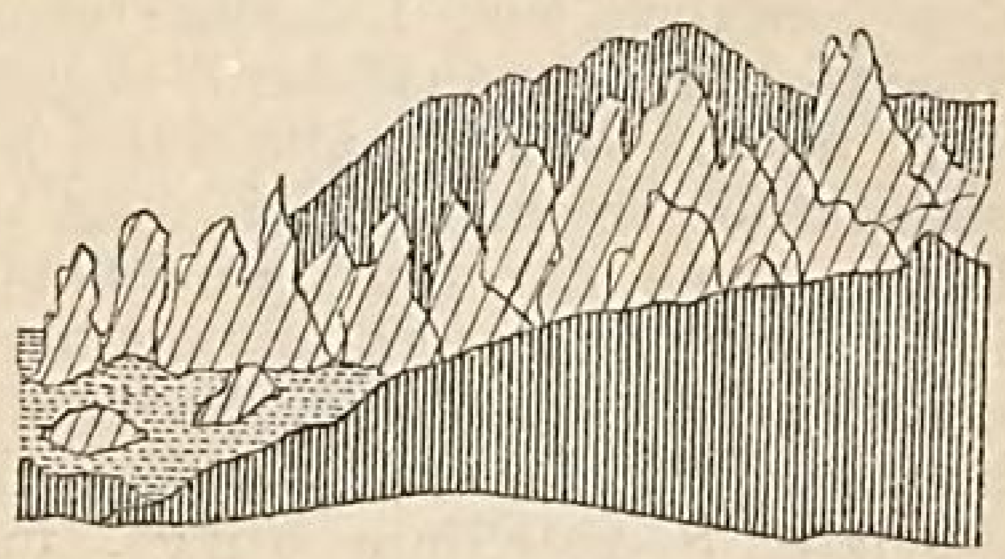
zunge genannt wird. Das Material des Nährgebietes ist der uns aus §. 3 bekannte Firn, während der eigentliche Gletscher aus Gletschereis besteht, einer Modalität des Eises, welche von gewöhnlichem festem Wasser in manchen Eigenschaften abweicht, in anderen aber auch wieder damit übereinstimmt.

Die französischen Bezeichnungen, die dem Sinne nach auch von der deutschen Terminologie übernommen wurden [155], rühren her von dem Savoyer Rendu [156], dessen theoretische Ansichten Hayes [157] gut zu popularisieren gewusst hat. Aus den in §. 4 angestellten Betrachtungen über die Firnböden ist zu schliessen, dass dieselben nichts weniger denn morphographisch einförmig gebaut sind; so scheidet E. Richter [158] die Nährbezirke grosser Thalgletscher (S. 725) in einen oberen, den Hochschnee aufspeichernden und in einen unteren Teil, ein Sammelbecken, in welchem die Firnmassen sich vereinigen, aus denen sich das Ablationsgebiet unaufhörlich mit neuer Nahrung versieht. Bei den unechten Gletschern, deren hauptsächlichster oder beinahe einziger Vertreter das grönländische Binneneis ist, konzentriert sich die gesamte Eismasse im Einzugsgebiete, aus welchem nur schmale Zungen auslaufen; man könnte auch mit E. Richter [159] von einem Plateaugletscher sprechen. Je nach den sonstigen Besonderheiten unterscheiden wir, da der grönländische Typus eine Klasse für sich darstellt, einen alpinen, einen skandinavischen und einen argentinischen Gletschertypus.

Der alpine Typus ist der einfachste und übersichtlichste. Aus dem Firnboden wächst der eigentliche Gletscher heraus, indem er den einzigen ihm offen stehenden Weg durch das Thal nimmt [160]. Durch Vereinigung mehrerer Einzelgletscher, die aus konvergierenden Thalästen hervorkommen, entsteht ein zusammengesetzter Gletscher — bei den grösseren Eisströmen die Regel. So setzt sich der Gornergletscher am Monterosa aus fünf Komponenten zusammen. Teilung nach unten ist viel seltener [161] und häufig nur eine Folge der vom Gletscher selbst fortgeführten, an einer Terrainunebenheit aufgestapelten Schuttmassen. Die weitaus ausgedehnteste zusammenhängende Eismasse findet sich im Bereiche unserer Alpen an der Vereinigungsstelle des Oetz-, Kaunser-, Langtauferer und Schnalserthales; der längste aller europäischen Ferner ist der Aletschgletscher, der von den Berner Alpen zum Rhônethale niedersteigt. Als noch länger weiss v. Sonklar [162] lediglich einen Gletscher der Mustagh-Kette (am oberen Indus) zu bezeichnen (s. S. 726). — Der Umstand, dass das schwedisch-norwegische Grenzgebirge einen breiten, wenig differentiierten Rücken, die sogenannten Fjelds, aufweist, dem nur gelegentlich höhere Kuppen aufgesetzt sind, bedingt das typische Bild, dass der Hochschnee oder Firn nicht nach einer beschränkten Anzahl von Thalausgängen, sondern nach allen Richtungen hin zerteilt wird [163]. Was von dem über die Plateauränder hinausgeschobenen Eise nicht abbricht und lawinenartig in die Tiefe stürzt, steigt in steilen, zumeist unansehnlichen Gletschern in die Thäler und Fjorde nieder. Ein Hochland, das nach Deckert [164] so wenig modelliert ist, dass die Bäche ihre schwach markierten Betten häufig wechseln, vermag keine Riesengletscher nach Art derjenigen der Alpen zu liefern. — Wieder ein anderes Bild entrollt vor uns der Ostabhang der südlichen Anden; an Stelle der gewöhnlichen Gletscher sind zerhackte Eisfelder getreten, deren Teile in den bizarrsten Formen durcheinandergeworfen sind. Eine erste Nachricht über diese Bildung, welche der Neuspanier, der phantasiereich in den Eissäulen die Figuren betender Menschen erkannte, mit dem Namen Büsserschnee („las nievas penitentes") belegt hat, gab Darwin [165], der aber kaum Recht gehabt haben dürfte, gewisse Polarnachrichten von Scoresby und Jackson zum Vergleiche heranzuziehen. Detailliertere Nachrichten hat man von Güssfeldt [166], und neuerdings haben wir von Brackebusch [167] eine monographische Schilderung der Penitentes erhalten. Dieselben stehen nur auf lockerem, thonfreiem, wenig zähem Boden, vorwiegend auf Kies und zersetzten Tuffen (I, S. 386), so dass also Regen- und Schmelzwasser leicht einsickern kann. Die Masse ist ein Mittelding zwischen Firnschnee und echtem Gletschereise. Als Gletscher dürfen wir die Penitentesfelder (auch „Kerzenfelder") deshalb in Anspruch nehmen, weil sie in langsamer Bewegung thalabwärts begriffen sind. Nach Brackebusch kann man die Büssersäulen mit den Erdpyramiden (s. u. in Kap. V) oder auch mit den Eispfeilern vergleichen, welche beim Eindringen eines grönländischen Gletschers in einen Eisfjord (S. 609) durch Spaltenbildung entstehen und in Fig. 146 nach v. Nordenskiöld [168] abgebildet sind.

Uebrigens vergesellschaften sich gelegentlich auch mit dem Büssereise solche Gletscher, wie wir sie zu sehen gewohnt sind; dies ist eine interessante Feststellung Hauthals [169]. An der Südfront des fast 5000 m hohen Sosneado fand dieser Geologe einen kleinen Gletscher, dessen blaugrün schimmerndes Eis die Natur desselben klar auswies, und der dem Eise entströmende „Eselbach" hat eine Umgebung, die der Kenner ohne weiteres als Gletscherlandschaft bezeichnen musste. Das Firnfeld zeigte sich überdeckt mit Penitentes, die so dicht standen, dass der Fuss kaum zwischen ihnen Platz zu finden vermochte. Auch liess sich an einem jetzt weit vom unteren Ende des Burrogletschers befindlichen, 500 cbm Inhalt besitzenden Eisblocke erkennen, dass er dereinst einem Gletscherthore angehört haben müsse.

Fig. 146.



Ein unzweideutiges Analogon zum argentinischen Typus ist auf der ganzen Erde kaum aufzuweisen. Dagegen begegnet uns der alpine Typus wieder in allen hohen Kettengebirgen, der skandinavische in allen Plateaugebirgen, soweit eben überhaupt Gletscherbildung in ihnen stattfindet [170]. „Aehnlich wie die Alpen verhalten sich z. B. Himálaya, Thian-schan, Neuseeländische Alpen; mit Norwegen ist ein Teil von Grönland vergleichbar." Rabots Vorschlag [171], zwischen den alpinen und norwegischen Typus eine vermittelnde Zwischenform einzuschieben, wird man schwerlich als zweckdienlich erachten können. Auch den in der Klassifikation des Gletschereises von J. Sachs [172] gemachten scharfen Unterschied zwischen Eisströmen und Gletschern können wir nicht als leicht durchführbar anerkennen.

§. 7. **Physikalische Eigenschaften des Gletschereises.** Aus dem Firn wird Gletschereis durch molekulare Vorgänge, die noch nicht endgültig geklärt, wahrscheinlich aber vorzugsweise mechanischer Natur sind [173]. Der Zement, welcher (S. 718) die Firnkörner verband, ist jetzt verschwunden; ein Fragment Gletschereis setzt sich zusammen aus polyedrischen Stücken, welche bloss durch ein Haarspaltennetz von einander getrennt sind. Im oberen Teile des Ablationsgebietes ist dieser Gegensatz der entscheidende; Eis und Firn sehen sich hier noch ähnlicher, was ja wohl begreiflich ist, da doch nicht an einen plötzlichen, sondern nur an einen langsamen und unmerklichen Uebergang gedacht werden kann. Die Körner werden immer grösser, je weiter man sich vom Einzugsgebiete entfernt, und mit dieser Entfernung nimmt auch stetig die Aehnlichkeit zwischen Gletscher- und Flusseis zu. Trotzdem bemerkt man selbst im reinsten Eise noch Fremdkörpereinschlüsse [174]. Mit dem Veränderungsprozesse ist, wie v. Richthofen [175] hervorhebt, eine namhafte Verdichtung parallel gegangen; 1 cbm frisch gefallenen Schnees wiegt im Durchschnitte 85 kg; dieselbe Raumeinheit Firn und Gletschereis hat resp. ein Gewicht von 500 bis 600 und 900 bis 960 kg.

Genauere Betrachtung des Gletschereises hat eine ganze Reihe von Eigenschaften daran hervortreten lassen, welche bekunden, dass man es hier mit einem sehr zusammengesetzten Stoffe zu thun hat, dessen Besonderheiten teilweise erst einer sehr eindringenden Untersuchung sich erschliessen. Wir werden die wichtigsten Züge im physikalischen Verhalten dieser Substanz nunmehr im einzelnen betrachten und dabei von der Kornstruktur ausgehen, welche zunächst ins Auge fällt.

a) Das Gletscherkorn. Neben dem bezüglichen Abschnitte im Heimschen Handbuche [176] rekurrieren wir hier noch auf einen die Hauptpunkte zusammen-

fassenden Vortrag [177] des gleichen Autors. Zuvörderst mag festgestellt sein, dass nach Hugis Beobachtungen [178], die durch Hagenbach-Bischoffs experimentelle Nachprüfung [179] ihre Bestätigung fanden, das Gletscherkorn als einheitliches Krystallindividuum erkannt wurde. Untersucht man ein Gletscherkorn, welches zuvor mit der erwärmten Hand abgeschliffen wurde, im Polarisationsapparate, so treten die charakteristischen optischen Eigenschaften einachsiger Krystalle zu Tage. Die Agassizschen Oberflächenstreifen, welche den Eindruck von Runzeln machen und in den von Forel [180] hergestellten Wachs- oder Gipsabdrücken bequem studiert werden konnten, scheinen sich durchweg in zur Achse senkrechten Ebenen zu befinden und somit ebenfalls zur Krystallisation in enger Beziehung zu stehen, was jedoch nicht als gesichert gelten kann. Auch die von Tyndall [181] entdeckten Schmelzfiguren stehen mit ihrer Ebene senkrecht auf der optischen Achse. Der englische Physiker ist später eingehend auf diese Gebilde zurückgekommen [182]; sie entstehen, wenn man einen kleinen Würfel von klarem Eise in den Brennpunkt einer den Sonnenstrahlen ausgesetzten Sammellinse bringt, und erscheinen als zart schimmernde Blumen von sechseckiger Gestalt, wie solche beim krystallisierenden Wasser (S. 39) die Norm bildet. Ein eigenartiges Klirren, welches sich dabei vernehmbar macht, führt Tyndall darauf zurück, dass an verschiedenen Punkten der von den Sonnenstrahlen durchdrungenen Eismasse Hohlräume entstehen, welche fürs erste noch mit Flüssigkeit gefüllt sind, bald aber in sich zusammenbrechen, weil das Wasser die Höhlung nicht vollständig ausfüllt. Das oft besprochene, unheimliche Knistern des Gletschers soll die Summation zahlreicher, von solch minimalen Brüchen herrührender Geräusche sein. Mit der Richtung, welche die Achse im Raume einnimmt, haben sich gleichfalls verschiedene Gelehrte beschäftigt. Grad und Dupré traten [183] für die Annahme eines gewissen Achsenparallelismus ein, aber Klocke [184] ermittelte am Morteratschgletscher, dass von solcher Regelmässigkeit in Wirklichkeit nicht gesprochen werden könne, wie dies auch durch eine Rechnung Heims [185] bekräftigt wird. — Eine viele neue Gesichtspunkte bringende Untersuchung über das Gletscherkorn wurde von Emden [186] angestellt. Er glaubt die erste Spur einer Erkenntnis der Natur dieses Kornes bei dem alten Hamburger Polarforscher Martens (I, S. 18) gefunden zu haben, wogegen allerdings von anderer Seite Widerspruch erhoben worden ist [187]. Weiterhin verfolgt er die Bestrebungen, die Konstitution des Gletschereises zu ergründen, und kommt schliesslich zu einem Resultate, dessen hohe Bedeutung von selbst in die Augen springt. Kornbildung ist nicht eine spezifische Eigenschaft des Gletschereises, sondern lässt sich generell bei gefrorenem Wasser nachweisen. Beobachtet man eine fest gewordene Wasserfläche, so zeichnen sich deutlich sechseckige, die Ebene lückenlos erfüllende Felder ab, deren jedes als Basis eines Eisprismas zu denken ist, und diese Prismen bekunden das gleiche optische Verhalten, wie dies bei den Gletscherkörnern der Fall ist. Auch für Eiszapfen trifft ein gleiches zu [188]. Die Forelschen Streifen (s. o.) fasst Emden als Erosionslinien des Schmelzwassers auf, und damit würde freilich deren krystalltheoretische Natur nicht vereinbar sein. Jedenfalls ist es Hagenbach-Bischoff [189] nicht möglich gewesen, zwischen jener Streifung und den oben erörterten Schmelzfiguren eine regelmässige Beziehung nachzuweisen.

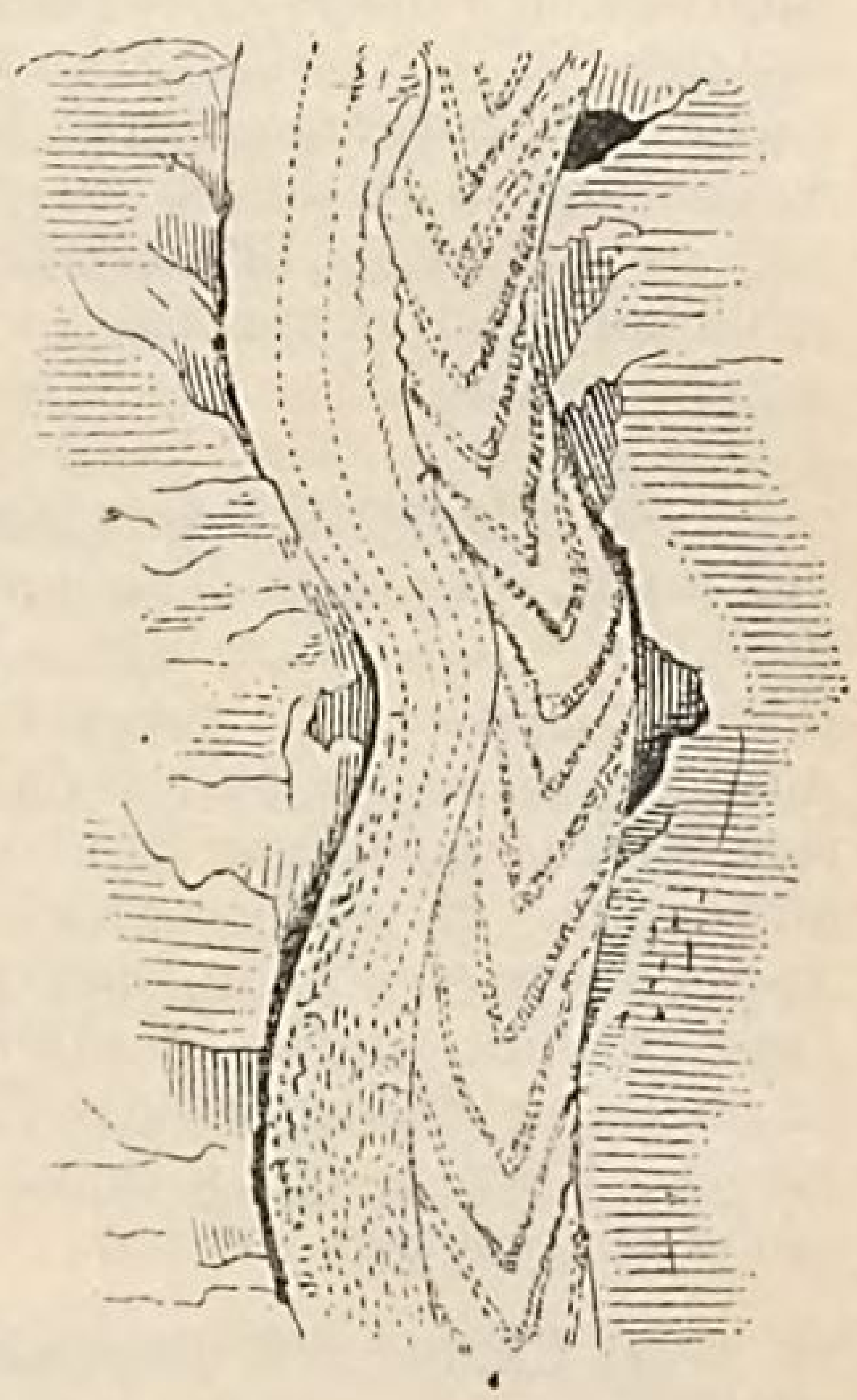
b) Herausbildung des Eises aus dem Firn. Nachdem wir so das Gletscherkorn als das konstituierende Element der bewegten Eismasse kennen gelernt haben, tritt die schon gestreifte Frage mit erneuter Bedeutung hervor: Wie entsteht aus dem in Zement eingebetteten Firnkorne (S. 729) das Gletscherkorn? Ratzel weist darauf hin [190], dass sich solche Prozesse oft ganz ohne sichtbare Eingriffe bestimmter Agentien, scheinbar ganz aus freien Stücken vollziehen. Gibt doch Forel [191] an, gesehen zu haben, dass in der von ihm genau untersuchten Eishöhle des Arollagletschers Schnee in echten Firn mit Gletscherkörnern von 5 bis 6 mm Durchmesser übergegangen sei; wenn dann aus diesem Firn wirkliches Gletschereis werden solle, müsse der Druck eine gewichtige Rolle spielen. Man wird es mit Grad und Dupré (s. o.) wohl für sehr wahrscheinlich halten müssen, dass der Uebergang vom Hochschnee durch Firn und kleinkörniges Gletschereis hindurch bis zu dem grobkörnigen Gletscherende ein kontinuierlicher ist, aber man muss mit Heim [192] einräumen, dass der endgültige Beweis dafür noch aussteht. Die Ansicht dieses Forschers geht dahin, dass die Vergrösserung nicht gesetzmässig, sondern mehr zufällig stattfindet; fügt es sich, dass zwei Nachbarkörner wesentlich parallele Achsen-

stellung erhalten, so wachsen sie zu grösserem Korne zusammen. So ist denn auch Hagenbach (s. o.) für die Hypothese eingetreten, dass ein grösserer Krystallkörper die kleineren, welche rings um ihn, und zwar in seiner molekularen Anziehungssphäre gelegen sind, gewissermassen aufsaugt. Dadurch ergibt sich jedoch unleugbar ein Dilemma, welches noch nicht aus der Welt zu schaffen war. Die Umbildung von Schnee in Firn und von Firn in Eis scheint auf den Bewegungsvorgang, d. h. auf den Druck der von oben nachrückenden Massen zurückgeführt werden zu müssen, wogegen das Kornwachstum, wenn die vorstehend erläuterte Anschauung zutrifft, bei einer ruhenden Eismasse ebensowohl wie bei einer bewegten denkbar wäre. Hier liegt anscheinend ein noch weiterer Klärung sehr bedürftiges Problem der Gletscherkunde vor.

c) **Die Infiltrierbarkeit des Gletschereises.** Die früher gehegte Meinung, Flüssigkeiten, an die Oberfläche des Gletschers gebracht, versickerten leicht im Eise, ist nicht haltbar. Jedenfalls ist die äusserste Schicht der Infiltration am zugänglichsten. Forel [193] und Heim [194] fanden die Kapillarspalten im allgemeinen nicht und nur da ein wenig mehr zur Aufnahme von Flüssigkeiten geeignet, wo drei oder mehr verschiedene Körner zusammenstossen.

d) **Die oberflächlichen Schmutzbänder.** Auf diese Erscheinung wurde die allgemeine Aufmerksamkeit zuerst durch Forbes gelenkt, dessen Aussage [195] Tyndalls neues Werk folgendermassen deutsch wiedergibt [196]: „Mein Auge wurde durch eine sehr eigentümliche Erscheinung auf der Oberfläche des Eises gefesselt, die ich zum erstenmal sah. Sie bestand aus fast hyperbolischen braunen Bändern auf dem Gletscher, deren Krümmungen nach abwärts zeigten; die beiden Zweige gingen ohne scharfe Grenze in die Moränen über und boten das Bild einer Reihenfolge von Wellen dar, von denen einige 30 m voneinander entfernt waren." Dies war am Mer de Glace (S. 725), und Fig. 147 sucht, wieder nach Tyndalls Zeichnung [197], eine Vorstellung von den gekrümmten Streifen zu vermitteln, für welche die englische Bezeichnung Schmutzbänder (Dirtbands) jetzt üblich geworden ist. Vorher nannte man sie Ogiven oder Chevrons; letzteres Wort erinnert an die auf die Rockärmel genähten Dienstaltersauszeichnungen, welche dereinst in mehreren Heeren europäischer Mächte getragen wurden. Man beobachtet [198] diese Bänder am besten bei Abendbeleuchtung, weil dann der Unterschied in der Reflexfähigkeit des Eises und der Staub- und Schuttmassen am schärfsten hervortritt, welche sich (vgl. S. 729) auf dem Gletscher gelagert haben und teilweise in diesen eingedrungen sind. Tyndall gibt [199] der Vermutung Raum, die Bänder, deren spitzwinklige Ausbuchtung einzig durch die raschere Bewegung der Gletschermitte veranlasst ist, entsprächen dem Anwachsen des Gletschers ähnlich, wie sich das Wachstum eines Baumes in den Jahresringen abspiegelt. Andererseits hängen [200] die Ogiven auch mit der jetzt vorzunehmenden Eigentümlichkeit des Gletscherbaus zusammen.

Fig. 147.



e) **Die Blaublätterstruktur.** „Die geaderte Struktur ist von verschiedenen Reisenden beobachtet worden; sie wurde aber wohl zuerst von Sir David Brewster erwähnt, der die Adern des Mer de Glace am 10. September 1814 bemerkte. Sie wurde auch von General Sabine, von Rendu, von Agassiz und sicher noch von vielen anderen beobachtet; aber die erste sachgemässe Beschreibung rührt von Guyot in einem Berichte her, den er 1838 der Geologischen Gesellschaft von Frankreich überreichte" [201]. Guyots Schriftchen [202] machte die Gelehrtenwelt mit der Thatsache bekannt, dass, namentlich in den tieferen Partien der Zunge, der Gletscher Lamellen enthalte, die man als blau schimmernde, durchsichtige Streifen erst dann erkenne, wenn man das Auge ungefähr in ihre Ebene bringe. An der Oberfläche bilden diese Blätter, weil das blaue Eis mit Blasen durchsetzt und deshalb leichter schmelzbar ist, Furchen, die sich in ihrem Verlaufe ganz den

Schmutzbändern (s. o.) anschmiegen. In neuerer Zeit hat die Erforschung der Bandstruktur oder Blaublätterung zwar auch manchen Fortschritt gemacht, aber die wichtige Erkenntnis, dass nicht eine einfache Schichtung vorliege, geht doch auf L. Agassiz zurück [203]. Derselbe hatte sich, um auch das Innere des Gletschermassivs darauf prüfen zu können, unter grösster Lebensgefahr in einen Gletscherbrunnen hinabseilen lassen [204] und durch Autopsie festgestellt, dass auch in 25 m Tiefe die blauen Lamellen noch deutlich erkennbar sind.

f) Die Weissblätterstruktur. Neben den blauen Blättern gibt es auch weisse, die, weil völlig frei von Fremdkörpereinschlüssen, in blendender Reinheit glänzen und, in das kompakte bläuliche Eis eingebettet, sich oft über den grössten Teil des Gletschers wegziehen, ohne sich indessen weit von der Oberfläche zu entfernen. Sie bestehen aus Winterschnee, der in die Querspalten fiel und hier durch Kompression zu Eis verwandelt wurde, ehe der Schmelzprozess ihn aufzulösen im stande war [205].

g) Schichtung oder Schieferung? Der Unterschied zwischen diesen beiden Arten des inneren Gefüges eines Körpers wurde in der Gesteinslehre (S. 671) klarzustellen gesucht. Auf das Eis lässt sich dieser Gegensatz ganz natürlich ausdehnen. Dass eine gewisse Schichtung vorhanden sei, lässt sich wohl nicht bestreiten [206], denn jeder neue Schneefall schafft eine neue Decklage im Bereiche des Firnbodens, und eben diese muss angesichts des kontinuierlichen Zusammenhanges zwischen Firn und Gletschereis auch in letzterem noch nachhalten. Aber freilich kann die Schichtung bei grösseren Gletschern durch die anderen Strukturen (s. o.) verwischt werden; die feinen, unreinen Streifen, welche in das Eis hineindringen [207], werden dann zugedeckt und unkenntlich gemacht. Von norwegischen Gletschern hat man durch De Seue [208] Kunde erhalten; auch hier lässt sich die Schichtung nicht durch die ganze Masse hindurch verfolgen. Eine andere Bewandtnis hat es mit der Blaublätterstruktur, in der alle Forscher eine Schieferung erblicken [209], wie solche im allgemeinen durch einseitig wirkenden Druck zu stande kommt.

h) Plastizität des Gletschereises. Nach Heim [210] war um 1750 Bordier der erste, der dem Eise unter gewissen Umständen Plastizität zuschrieb, und Rendu (s. o.) führte diese Lehre weiter aus. Gewöhnliches Eis ist spröde; Gletschereis dagegen bethätigt Sprödigkeit lediglich gegen Zug, wogegen es gegen Druck im hohen Grade nachgiebig ist. Es lassen sich mithin auf diesen Stoff teilweise die Gesetze der Plastikodynamik (I, S. 352) anwenden. H. v. Helmholtz hat gezeigt [211], dass man Gletschereis in beliebige Formen pressen kann, und von Tyndall [212] wurden diese Experimente mannigfach variiert, indem derselbe besonders auch die relativ grosse Biegsamkeit betonte. Die Weichheit des Eises ist nicht [213] die von Teig, Wachs, Lava, Sirup, Honig, Teer u. dgl.; Spannungen erträgt ersteres nicht, und in Fäden kann es nicht ausgezogen werden.

i) Härte und Festigkeit des Gletschereises. Bei grosser Kälte ist auch Gletschereis sehr hart; bei geringerer lässt die Härte ebenso nach, wie die Formbarkeit zunimmt [214]. In Bezug auf andere der Mechanik unterworfene Eigenschaften kann auf die früher (S. 541) gegebene Charakteristik verwiesen werden.

k) Druckverflüssigung und Regelation. Es ist eine durch Carnot [215] vorbereitete und durch James Thomson [216] thatsächlich gemachte Entdeckung von grosser Tragweite gewesen, dass unter starkem Drucke der Schmelzpunkt des Eises herabgesetzt und folglich Schmelzwasser mit einer Temperatur unter 0° erzeugt werden kann, welches bei vermindertem Drucke dann wesentlich wieder gefriert. Damit hängt eine weitere wichtige Entdeckung zusammen, welche im Jahre 1850 Faraday [217] gelang. Drückt man zwei angefeuchtete Eisstücke zusammen, so gefrieren sie aneinander. Dieses Phänomen wird Regelation (Wiedergefrieren) genannt. Die Druckverflüssigung liefert den Schlüssel der Erklärung; zwischen den beiden Eiskörpern hat sich eine dünne Flüssigkeitsschicht gebildet, die sofort wieder gefriert und so ein förmliches Zusammenleimen beider Teile besorgt. Man hat hier einen molekularen Vorgang vor sich, der mit dem Schweissen der

Metalle ursächlich zusammenhängt. — Der Schnee- und Eismensch hatte mit der Thatsache der Regelation weit früher als die Kulturwelt Bekanntschaft geschlossen. Wenn es in der Eskimo-Schneehütte von der Decke zu tropfen beginnt, so schneidet, wie Klutschak erzählt [218], der Insasse von einem schon bereit gehaltenen Schneebrocken ein Stückchen ab, behaucht es und drückt es an die schadhafte Stelle an; es gefriert mit der Decke zusammen, und das Rinnen hört einstweilen auf.

l) Temperaturverhältnisse und Ablation. Gletschereis ist ziemlich diatherman (S. 12), d. h. die Wärmestrahlen passieren seine Masse, ohne deren Temperatur erheblich zu vermehren, wiewohl lokal-kalorische Wirkungen, wie Tyndalls Schmelzgebilde (S. 730) beweisen, nicht ausgeschlossen sind. Versuche von Dollfus-Ausset [219] und Forel [220] sind in dieser Beziehung sehr beweiskräftig. Wenn man in Eis eingebackenen Steinen begegnet, um welche herum ein Hohlraum ausgeschmolzen ist, so hat man sich den Hergang so vorzustellen, dass zuerst der Fremdkörper durch die noch wenig absorbierten Strahlen erwärmt wurde, und dass sich diese Wärme nachher durch Leitung dem umschliessenden Eise mitteilte. Im grossen und ganzen herrscht durch die ganze Gletschermasse hindurch eine Temperatur, die nur ganz wenig vom Nullpunkte abweicht [221]. Nur gegen den Boden hin wird eine Temperaturerniedrigung eintreten müssen; nach J. Thomson (s. o.) entspricht einer Atmosphäre Drucksteigerung eine Erniedrigung des Schmelzpunktes um 0,0075°, und dieses Gesetz ist durch Forel und Hagenbach-Bischoff durch Beobachtungen am Arollagletscher (S. 741) allgemein verifiziert worden [222]. Es wird sich in Kap. V zeigen, aus welchem Grunde diese Feststellung hohes morphologisches Interesse in Anspruch nehmen kann. — In den unteren Partien macht sich natürlich der Einfluss der Erdwärme geltend, und auch die mit der Reibung korrespondierende Temperaturerhöhung, wie nicht minder die durch Druck erzeugte Wärme wollen berücksichtigt sein. Rechnerische Untersuchungen über die hiemit umschriebene Wärmeverteilung im Gletscherinneren hat Schioetz angestellt [223] und, wie zu erwarten stand, gefunden, dass die solare Wärme der weitaus wichtigste Faktor ist, um dem Anwachsen der Eisdecke entgegenzuwirken. Am entschiedensten bethätigt sich diese Wirkung selbstredend an der Oberfläche; zumal im oberen Teile und auch da, wo Schnee den Gletscher bedeckt, bilden sich Rinnen und Kanellierungen, welche Sieger [224] ganz und gar mit den Karrenbildungen der Kalkgebirge vergleichen möchte. Dieselben können sich auch in schneefreiem Eise bilden, was im vollsten Mafse für den Gornergletscher (im Thale von Zermatt) gilt, denn auf ihm haben Insolation und Regelation im Bunde (s. o.) ganz pittoreske Hügelformen bis zu 2 m Höhe herausgearbeitet, die dann wieder in Säulen und Türmchen zerlegt werden. Im Pamir-Hochlande bemerkte Sven Hedin [225] sogar Nachbildungen von Miniaturvulkanen; ein solches Abschmelzungsgebilde war ein Eisvulkan von 5 m Höhe, 68 m Umfang und etwa 20° Seitenneigung, der durch eine Krateröffnung mit einem See in Verbindung stand. Unter Umständen hätte mithin daraus ein wirklicher Eisvulkan von jener Beschaffenheit werden können, deren bei der Lehre von den Meeresbewegungen (S. 467) gedacht worden ist.

m) Optische Erscheinungen am Gletscher. Den Gletscherwanderern ist es wohl bekannt, dass sich mitunter eigenartige, reizvolle Licht- und Farbenerscheinungen zeigen. Von dem purpurfarbenen Lichte, mit welchem er die Gletscher um Chamonix übergossen sah, entwirft Tyndall [226] eine lebhafte Schilderung; die Schatten der Felsen umsäumten sich grün, weil Rot und Grün sogenannte Kontrastfarben sind (vgl. S. 100). Aus den Brüchen frischer Schneelagen leuchtet nicht selten ein blauer Lichtschein hervor, der an Glanz mit dem Himmelsgewölbe wetteifert [227]. Der scharf beobachtende, aber in theoretischen Dogmen befangene Hugi wollte [228] die charakteristische Helligkeit des Firnes durch eine besondere, aus noch unbekannter Ursache erfolgte Verdichtung der überlagernden Atmosphäre erklären. Vielleicht schwebte ihm dabei eine Erinnerung an die merkwürdige Gletscherphosphoreszenz vor, auf welche mutmasslich gar manche aussergewöhnliche Wahrnehmung im Hochgebirge (vgl. S. 129) zurückzuführen ist. Maurer hat [229] eine Reihe einschlägiger Nachrichten von verlässigen Gewährsmännern gesammelt, sich aber eines Erklärungsversuches vorläufig noch enthalten; nur so viel scheint nahegelegt zu sein, dass von echter Phosphoreszenz, d. h. von selbständigem Nachleuchten des Schnees und Firnes — ob auch des Gletschereises? — gesprochen werden darf.

Eine stattliche Reihe von Eigentümlichkeiten, durch welche der Stoff, aus dem sich die Gletscher zusammensetzen, seine geophysikalische Bedeutung dokumentiert, hat unsere nunmehr abgeschlossene Darstellung vorgeführt. Aber in ihrer wirklichen Tragweite werden alle diese Besonderheiten doch erst erfasst, wenn wir den Gletscher nicht, wie bisher, im Zustande der Ruhe, der in aller Strenge niemals vorhanden ist, sondern in dem thatsächlich obwaltenden Zustande der Bewegung und des lebendigen Stoffwechsels betrachten, wozu natürlich einige Vertrautheit mit der Struktur und dem sonstigen Verhalten dieser Eisgattung erfordert wird. Dann lernen wir diese Gebilde in ihren mannigfachen Beziehungen zum grossen Haushalte der Natur richtig erfassen, so wie dieselben Heim in einigen kräftigen Leitsätzen [230] kennzeichnet. Dieselben sind es wohl wert, hier wiederholt zu werden. „Der Winter speichert Schnee und Eis auf; der Sommer schmilzt sie zusammen. Die Schneebildung im Winter macht Wärme für die Luft frei; die Schmelzung im Winter bindet solche. Der Gletscher entsteht unter Freiwerden von Wärme in der Höhe oder den Polargebieten; er vergeht unter Wärmebindung in der Tiefe oder in den wärmeren Erdzonen; er liefert den stärksten Bach, wenn die anderen Wasser vor Hitze austrocknen. Im grossen und ganzen ist also der Gletscher ein Moment zur Ausgleichung klimatischer Gegensätze.“

§. 8. **Die Auflösung der Gletscher.** Von dem Augenblicke an, da der Gletscher, indem der letzte bis an die Grenze vorgeschobene Rest von Firnzement (S. 718) verschwand, dies wirklich geworden ist, arbeitet mit Rastlosigkeit die Ablation an seiner Vernichtung, und schliesslich erreicht sie ihr Ziel; am Ende der Gletscherzunge geht in jedem Zeitteile genau ebensoviel Eissubstanz durch Schmelzung verloren, als durch Nachschub von oben zugeführt war. Aber auch vorher schon war viel Eis durch die Wärme in die tropfbar- und elastisch-flüssige Form verwandelt worden. Gletschermühlen, Gletscherbach, Gletscherthor und Gletschertische sind, jedes dieser Phänomene für sich, redende Zeugen für die stetig schaffende Ablationsarbeit.

An der Oberfläche des Gletschers hingehend, hört man häufig brausendes Geräusch und sieht einen kleinen Wasserfall in einen tiefen Kamin hinabstürzen. Die beste Beschreibung dieser Gletschermühlen haben wir von Tyndall [231]. Sie bilden sich nur auf spaltenfreien Gletschern, weil ja anderenfalls das Schmelzwasser sich nicht einen Weg zu tieferen Horizonten zu bahnen braucht, sondern ihn bereits vorfindet. Der „Grand Moulin“ des „Mer de Glace“ (S. 725) wies 1857 zwei vertikal sich vertiefende Röhren auf, eine mit Wasser erfüllte und eine leere, aus welch letzterer eisige Luft ausströmte. Derartige Gletschergebläse, mit Tyndall [232] zu reden, werden zum öfteren auch bloss durch kleine Ritzen im Eise gebildet, aus denen die offenbar unter starkem Drucke stehende Luft mit auffälligem Zischen entweicht.

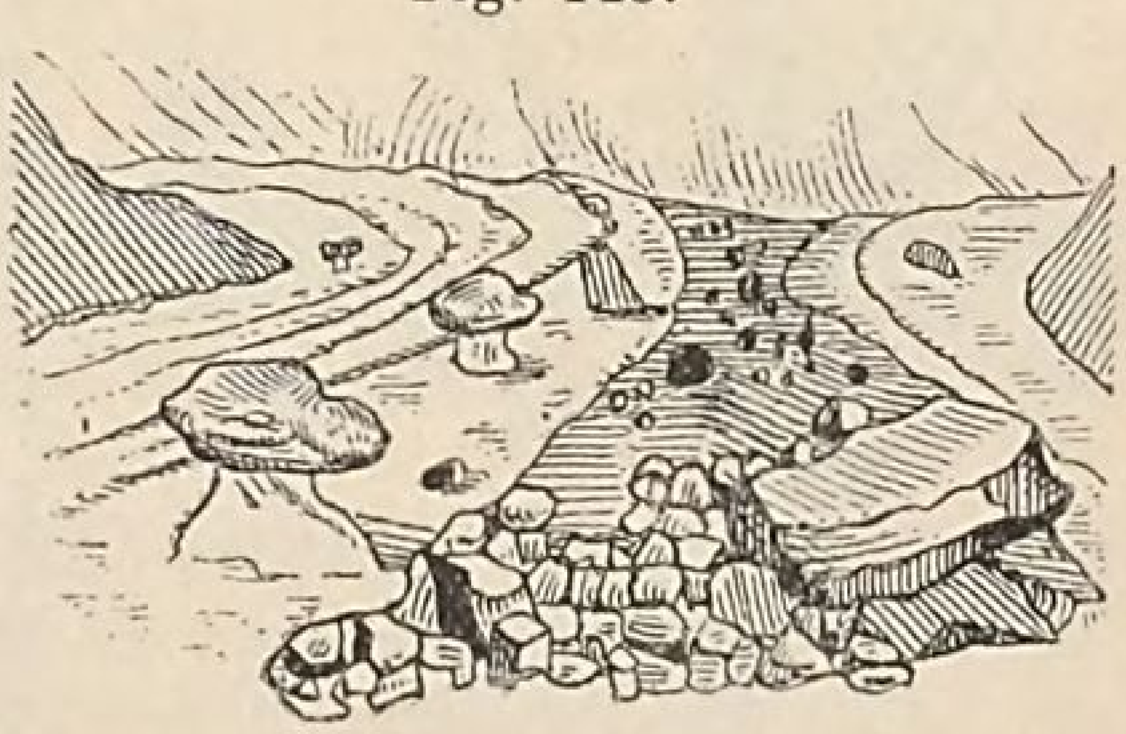
Das durch die Mühlen einströmende Wasser liefert, insoweit nicht Temperaturherabsetzung es wieder gerinnen macht, durch Addition eine nach unten zu stetig wachsende Wassermasse, zu welcher noch die an zahllosen Stellen entstehenden Schmelzgewässer hinzutreten. „Das Endprodukt der Gletscherschmelzung ist der Gletscherbach, der aus dem Gletscherthore am Ende des Gletschers hervorbricht“ [233]. Gletscherbäche haben eine Tagesperiode der Wasserführung und sind in dieser auch vom Witterungszustande abhängig [234], wie dies nach den die Abschmelzung regelnden Insolationsverhältnissen nicht anders sein kann. So lesen wir bei Güssfeldt [235]: „Der Rio Diamante zeigte an seinem Ufer einen auffallend breiten Streifen blossgelegten

durchnässten Terrains: eine Ebbe- und Fluterscheinung, offenbar herrührend von dem Unterschiede, welchen Tag und Nacht für die Schneeschmelze bedingen." Auch von einem dem Aconcagua (I, S. 462) entstammenden Bache wird gesagt [236], er erscheine am Nachmittage immer braunrot, am Morgen eisengrau und gebe so durch seine Färbung die tägliche Periode zu erkennen. Auch eine Jahresperiode ist unverkennbar [237]; heisse Sommer ergeben besonders kräftige Gletscherabströmungen. Quantitative Bestimmungen der von solchen Bächen mitgeführten Wassermengen verdankt man Finsterwalder [238] und Greim [239]. Diese Mengen sind verhältnismässig gross; auch der Stand des Niedrigwassers bleibt ein hoher und erhält sich beinahe ein halbes Jahr lang fast unverändert, während die Sommerhochflut nicht viel besagen will und z. B. in Sulden — am Fusse des Ortler — nur das Sechsfache des Niedrigwassers beträgt. Greim fand für den Silvretta-Abfluss wesentlich das Gleiche; selbst der Föhn (S. 204) bringt in jener Gegend keine namhafte Erhöhung des Pegelstandes zuwege. — Der subglaziale Bachweg wird durch die mitgerissene Luft erweitert und zur Gletscherhöhle erweitert; „die grösste und am leichtesten zu beobachtende Höhle wölbt sich über dem gesammelten Gletscherbache und bildet am Ende des Gletschers das Gletscherthor" [240]. Das Profil eines solchen ist seltener ein Halbkreis, gewöhnlicher ein gedrückter Gewölbbogen, und im Inneren kann man vielfach eine gute Strecke weit fortgehen. Stürzt das Thor zusammen, so bildet sich doch leicht wieder ein neues. Bekannt ist das die eigentliche Flussquelle in sich schliessende Eingangsportal des auch im übrigen landschaftlich ausgezeichneten Rhônegletschers. Sogar in abgestürzten und verfirnten Lawinenresten, diesen Pseudogletschern, kann sich jahrelang eine Thoröffnung erhalten, so wie es vor Jahrzehnten an der Eiskapelle beobachtet werden konnte.

Die oberflächliche Abschmelzung muss dann besonders leicht erkennbare Folgeerscheinungen hervorrufen, wenn oben auf dem Gletscher ein die Wärme leicht sammelnder Fremdkörper, ein Stein z. B., liegt. Während, wie gezeigt (S. 731), kleine Partikeln ins Eis hineinschmelzen, verflüchtigt sich um den Block herum alles Eis, und nur das Prisma, welches vertikal unter ihm liegt, wird durch ihn selbst vor der Zerstörung geschützt. So entsteht ein Gletschertisch. Auch diese Bildungen, welche man in der Montblanc-Kette und im Stubaithale an Prachtexemplaren studieren kann, sind vergänglich, indem eben doch zuletzt der Tragpfeiler zu sehr abschmilzt, um die auf ihm liegende Last noch länger tragen zu können.

Tyndall schildert [241] solche Tische. „Einige von ihnen fielen von ihrer Säule, während wir daneben standen, und die klaren Eisoberflächen, die sie zurückliessen, funkelten von minimalen Sternchen, als die kleinen Luftbläschen die Wasserhäutchen durchbrachen, von denen sie bedeckt waren." Der Regel nach wird der Steinblock vornüber fallen; es ist denkbar, dass er an der Stelle, auf welche er zu liegen kommt, einen neuen Tisch bildet und sich auf diese Weise langsam abwärts bewegt.

Fig. 148.



Von F. Simony rührt ein mit grossem didaktischem Geschicke gefertigtes Gletschertableau her [242], welches für die in diesem und dem nächsten Paragraphen behandelten Objekte Anschauungsbilder liefert. Speziell für Gletschertische ist auf unsere Fig. 148 zu verweisen.

§. 9. **Die Moränen.** Von Gestein, das einen Teil des Gletschers bildet, hatten wir schon zu wiederholtenmalen zu sprechen; nunmehr soll dies im Zusammenhange geschehen. Alle Steintrümmer nun, welche dem Gletscher derart angehören, dass sie, wenn er sich bewegt,

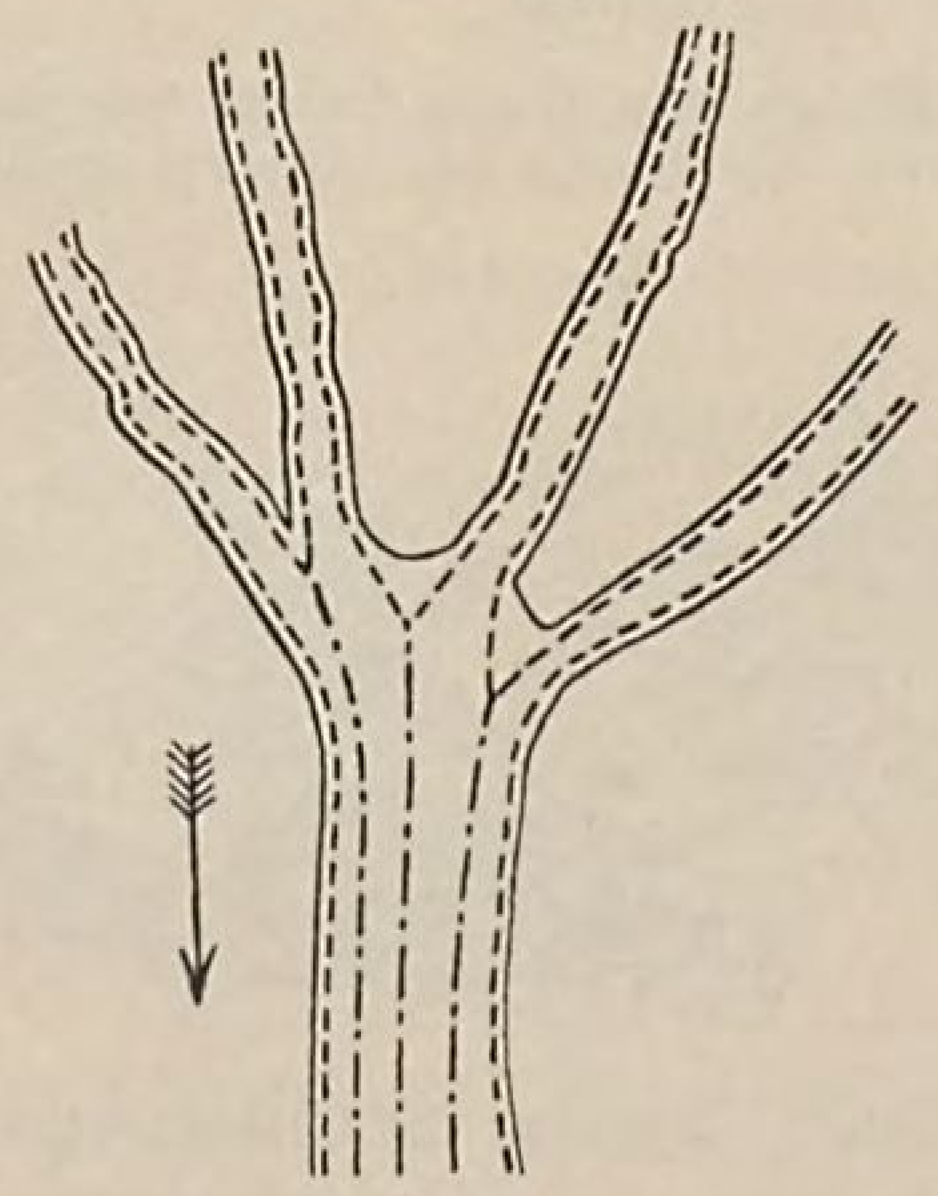
die Bewegung mitmachen, nennen wir mit einem dem Gletschergebiete der französischen Schweiz entnommenen Namen Moränen (moraines), der durch Charpentier in der Wissenschaft Bürgerrecht erworben hat [243]. Man unterschied von je Oberflächenmoränen, die wieder in Seiten- und Mittelmoränen (Gufferlinien) zerfallen, und Stirn- oder Endmoränen; neuerdings war man auch Grund- und Innenmoränen in Betracht zu ziehen genötigt.

Den Gedanken, die von den angrenzenden Bergen auf den Gletscher herabgefallenen Steine zur Messung von dessen Bewegung zu verwerten, findet sich zwar bei Altmann [244] angedeutet, aber um ihrer selbst willen brachte das XVIII. Jahrhundert diesen Steinansammlungen noch kein besonderes Interesse entgegen. Erst gegen Ende dieses Zeitraumes wurde es anders. „Eine kurze Abhandlung von B. Fr. Kuhn im Hoepfnerschen Magazin für Helvetiens Naturgeschichte (1787) bietet nicht nur eine treffliche Beschreibung des Grindelwaldgletschers" — der übrigens auch bei Altmann (s. o.) als Musterbeispiel dient — „und seiner Moränen, sondern der Verfasser verfolgt auch die alten Moränen über das Eisgebiet hinaus und schliesst daraus auf eine ehemals viel grössere Ausdehnung des Gletschers." Demnächst ist nach v. Zittel, aus dessen Geschichtswerk vorstehende Zeilen entlehnt sind [245], Saussure als Begründer einer selbständigen Auffassung der Moräne zu ehren, und ihm wieder folgten Hugi, Venetz und Charpentier. Seit 1815 erscheint die Lehre von den Gletschern als regelmässiger Beratungsgegenstand bei den Versammlungen der Naturforschenden Gesellschaft der Schweiz, und bei der Zusammenkunft auf dem Grossen St. Bernhard (1829) spielten die Moränenreste in der von Venetz angeregten Diskussion eine wichtige Rolle [246].

Die Frage, ob es Gletscher ohne Oberflächenmoränen geben könne, hat zu lebhafter Diatribe zwischen Diener und Penck geführt [247]. Der Streit dürfte doch mehr der Nomenklatur als der Sache selbst gelten, denn dass Schuttanhäufungen auch kleineren Hängegletschern nicht fehlen, wird von Penck nicht geleugnet, der nur die Definitionen von Charpentier und Agassiz in einem solchen Falle nicht als erfüllt erachtet.

Die Verwitterung arbeitet ohne Aufhören an den Felshängen, von welchen ein Gletscher umgeben ist, und die losgelösten Blöcke sammeln sich auf dem Eise an beiden Seiten in Längsstreifen an; dies sind eben die Seitenmoränen (moraines latérales), auch Rand- oder Ufermoränen zubenannt. Wachsen zwei Partialgletscher zu einem grösseren Gletscher zusammen (S. 728), so vereinigen sich zwei benachbarte Randmoränen zu einer Mittelmoräne (vgl. Fig. 148). Durch Einmündung von n Ursprungsgletschern in einen einzigen resultierenden Thalgletscher werden somit stets 2 neue Seitenmoränen und (n — 1) Mittelmoränen erwachsen. In Fig. 149 ist dieser Sachverhalt für den Spezialfall n = 4 dargestellt worden. Während also alle diese Schuttbänder, deren Richtung durch den Verlauf der Thalzüge bestimmt ist, Oberflächenmoränen bleiben, bilden sich auch unsichtbare Moränen, die in ihrer Existenz nur durch indirekte Kennzeichen sich offenbaren.

Fig. 149.



--------- *Ufermoränen.*
—.—.—.- *Mittelmoränen.*

a) Grundmoränen. „Auch unter dem Gletscher liegt Felsenschutt. Man nennt denselben ‚moraine profonde‘ (Ch. Martins), ‚couche de bone‘ (Agassiz), Grundmoräne“ [248]. Hie und da gelingt es kühnen Pionieren der Forschung, zwischen Eis und Gletscherbett sich einzuzwängen, und stets finden dieselben eine dünne, durchfeuchtete Schicht aus Schlamm und Sand, während zugleich ins Eis eingebackene Steine aus diesem hervorragen. Die gewaltigen Schlammansammlungen vieler Gletscherbäche sind Zeugen des Daseins der Grundmoräne. Baëff hat [249] Aichungen des Schlammgehaltes einzelner Gletscherbäche vorgenommen, und wir wollen einige der von ihm eruierten Zahlen nennen. Am 9. August 1890 befanden sich in 1 cbm Wasser bezüglich des Bossongletscherbaches, des Tourbaches, des Argentièrebaches, des vom „Mer de Glace“ kommenden Baches, des Tacconazbaches und des Bont-Nant — alle diese Wasserläufe sind der Genfer Arve tributär — 2287, 244, 535, 483, 215 und 644 Gramm suspendierte Feststoffe. Ein sehr erheblicher Bruchteil dieser Mengen ist Leistung der Grundmoränen. Bemerkt sei, dass ein tieferes Studium dieser Moränenform hauptsächlich durch Penck [250] angeregt ward, der insbesondere auch zeigte, wie sich die Bodenmoräne in verschiedenen Formationen (S. 678) und unter abweichenden petrographischen Verhältnissen dem Auge darstellt [251]. Das ist zugleich von höchster morphologischer Bedeutung, die freilich erst in Kap. V gewürdigt werden kann.

b) Innenmoränen. Die Thatsache wurde zuerst von Holst [252] wahrgenommen, und zwar bezog er sich dabei nur auf das grönländische Binneneis. Penck [253] schuf den zweckmässigen Namen und betonte, dass die Alpengletscher sich in dieser Hinsicht nicht von jener Eispanzerung unterscheiden. Auch Finsterwalder [254] erkennt die Existenz von Innenmoränen an. Geröll-, Sand- und Schlammlager finden sich verstreut im Inneren des Gletschers.

Alle die genannten Moränen steuern Material zur Aufschüttung der Endmoräne bei, welche in Gestalt eines nach unten konvexen Bogens das Ende der Gletscherzunge umgibt. Mit den Oberflächenmoränen hat die Stirnmoräne („moraine frontale“) das gemein, dass kleine und grosse, eckige und gerundete Blöcke, grosse Steinbrocken, Schlamm und Sand zusammenliegen [255]. Die Bestandteile der Grundmoräne und der Innenmoränen lassen sich allerdings wohl von den der Masse nach überwiegenden Residuen des Oberflächenschuttes scheiden. Eine gewisse Hebung der Bodenmoräne [256] mag auch dabei mitwirken. Vor allem aber ist auch die direkte Alluvialthätigkeit des Gletscherbaches nicht zu unterschätzen, und so kann man denn wohl behaupten, dass eine buntere Mengung von Trümmern und Detritus verschiedenster Herkunft nicht vorstellbar ist, als man sie in den Stirnmoränen antrifft.

Neben den vorhin zitierten Messungen Baëffs (s. o.) sind diejenigen von Duparc [257] und Oeyen [258] zu beachten, wenn man sich ein richtiges Bild von den fein verteilten Bestandteilen der Grundmoräne, resp. der von ihr gespeisten Endmoräne verschaffen will. „Es ist“ — nach Pencks [259] Bewertung der Messungsergebnisse — „die durchschnittliche Abtragung der Gletschergebiete durch die Schlammführung der Gletscherbäche grösser als die der Flussgebiete der gleichen Breite.“

§. 10. **Allgemeines über Gletscherbewegung.** Des Umstandes, dass jeder Gletscher fortschreitet, und dass eben dieser Bewegungszustand eine scharfe Grenze zwischen echten Gletschern und beliebigen anderen Eismassen zu ziehen erlaubt, musste in diesem Kapitel schon mehrfach Erwähnung geschehen. Als ein selbständiges Problem aber kann die Gletscherbewegung erst jetzt abgehandelt werden. Um über sie ins klare zu kommen, musste zuerst eine besondere Methodik ins Leben gerufen werden, die in der Ausbildung einer autonomen Gletschervermessungskunde oder glazialen Geodäsie gipfelte. Diesen Methoden wollen wir also zuvörderst näher treten und

uns vergewissern, welche Aufschlüsse über die Art der Bewegung dadurch gewonnen werden konnten.

Von der Thatsache, dass der Gletscher nicht stehen bleibt, war bereits der alte Simmler unterrichtet [260]. Altmann meint [261], ein solches Fortrücken müsse sowohl aus dem wechselnden Orte der den Gletscher überdeckenden Steine (s. o.), als auch daraus geschlossen werden, dass in Gletscherspalten gefallene Objekte nachmals wieder zum Vorschein kommen, also „mit dem Gletscher fortgestossen sein müssen". Messungen traten erst dann an die Stelle der obenhin gemachten Schätzungen, als Agassiz (S. 725) seine Beobachtungen am Aaregletscher begann, deren eigentlich geodätischer Teil in die Hände des unter Eschmanns Leitung [262] herangebildeten J. Wild gelegt war. Auf der betretenen Bahn folgten Forbes, die beiden Schlagintweit, Tyndall u. a. nach, so dass 1885 Heim [263] eine stattliche Anzahl älterer Leistungen auf diesem Gebiete zu registrieren in der Lage war.

Vom genannten Zeitpunkte an machte sich aber erst ein Umschwung bemerklich, in dessen Konsequenz die früher mitgeteilten Daten durch weit genauere ersetzt werden sollten. Es war der vom obersten Oetz- oder Rofenthale etwas seitlich gelegene Vernagtferner, der die rasch sich folgenden Verbesserungen der Gletscheraufnahmen in seinem Bereiche entstehen sah. Auf die erste von Finsterwalder [264] geleitete Vermessungscampagne hin musste zwischen drei Methoden der praktischen Geometrie eine Wahl getroffen werden; verglichen wurden die graphische (oder Messtisch-), die trigonometrische und die tachymetrische Methode (vgl. bezüglich I, S. 303, 305). Die letztere wurde als die brauchbarste erkannt, konnte aber gegenüber den grossen Schwierigkeiten, welche die korrekte Abbildung eines bald aus Fels, bald aus Eis bestehenden Gebirgsabschnittes mit sich brachte, doch auch nicht allen Anforderungen Genüge leisten. Auch die Aneinanderreihung von Dreiecken, wie sie bei einer Landesvermessung die Norm bildet, war mit vielen Hindernissen verknüpft. Nach Greim [265] gehen die ersten Versuche dieser Art — Ramond und Coxe — bis auf das Jahr 1789 zurück, und eine grössere Basis zur Triangulierung des Unteraaregletschers wurde 1829 von Hugi gemessen. Seit 1888 begann deshalb Finsterwalder, der sich zu diesem Zweck mit Blümcke verbunden hatte, die in Italien als Nothelfer in schwer übersehbarem Terrain erprobte Photogrammetrie anzuwenden [266], und der Erfolg blieb nicht aus. Es ist von Interesse, dieses neue Stadium der Glazialgeodäsie mit dem älteren zu vergleichen, wie es bei den von Finsterwalder, teilweise zusammen mit Schunck, bewerkstelligten Vermessungen des Gliederferners (Pfitschthal) und Gepatschferners (östliche Ausläufer des Oetzthales) sich zu erkennen gibt [267]. Die Photographie hatte auch da schon ihre Dienste geleistet, aber doch nur sukkursiv, indem 13 Photogramme neben den Messungsresultaten und 30 Terrainskizzen „als willkommene Stütze des Gedächtnisses bei der Zeichnung der Karte dienten" [268]. Als man zum anderen Male den Gepatschferner in Angriff nahm, wurde neben der Triangulation, welche man besserer Kontrolle halber an das grosse österreichische Dreiecksnetz anknüpfte, auch die Photogrammetrie selbst verwertet, und Kerschensteiner, der diesmal die Arbeit besorgte, konnte sehr genaue Zahlen für Bewegungsgeschwindigkeit und Eisveränderungen erhalten [269]. Die Doppelvermessung des Alpeinerferners (Stubaithal) durch Pfaundler [270], der mit dem Theodoliten, und durch H. Hess [271], der mit dem Photogrammeter arbeitete, gewährt gleichfalls lohnende Vergleichspunkte. Die solchergestalt zu bethätigende Einzeichnung der Isohypsen hat ebenfalls Hess [272] zu einer abweichenden Auffassung der Firngrenze (vgl. S. 720) geführt.

Die vollendetste Leistung auf diesem Konstruktionsgebiete ist, wie schon angedeutet, die in den Jahren 1888 bis 1895 durchgeführte Aufnahme des Vernagtferners durch Finsterwalder, dem Blümcke und Hess ihre Unterstützung geliehen hatten [273]. Eine Karte vom Masstabe 1 : 10 000 bildet das praktische Hauptergebnis; sie findet in der ganzen Kartenlitteratur nur ein einziges Seitenstück, nämlich in der Zugspitz-Karte des k. bayer. topographischen Bureaus [274]. Der mittlere Fehler (S. 82) der Höhe eines photogrammetrisch festgelegten Punktes belief sich bloss auf 1,17 m — eine bis dahin im Hochgebirge nicht erreichte Genauigkeit [275]. Die gezeichneten Konturen der Terrainformen dienen bei den gewöhnlichen Verfahrungsweisen dem Mappeur höchstens zur allgemeinen Orientierung; die neue Methode führt hingegen jene Linien als bestimmendes Element in die Kartenzeichnung ein, indem sie von dem Satze aus-

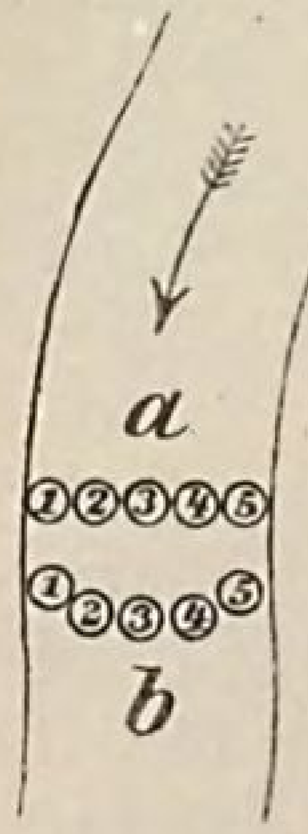
geht, dass jede Kontur auf einem Tangentialkegel an die betreffende Terrainform gelegen ist, dessen Spitze sich im photographischen Standpunkte befindet. Bei der Wiedergabe des Felsgebietes wurde von einer Kombination der vertikalen und schiefen Beleuchtung (I, S. 311) vorteilhafter Gebrauch gemacht [276]; erstere bildete das Requisit für die grossen Formen, letztere für das Detail. — Nicht unerwähnt möge bleiben, dass längst vor der Ausbildung der im strengen Wortsinne photogrammetrischen Methoden Bessels [277] zur Untersuchung des Bruder-John-Gletschers am Foulke-Fjord (Nordwestgrönland) einen Beobachtungsmodus verwandter Art anwandte, um in möglichst kurzer Zeit Ortsveränderungen auf der Gletscheroberfläche als reell nachzuweisen.

Eine auf solche Art hergestellte Karte bildet nun den unentbehrlichen Untergrund, um feinere Fragen der Glazialphysik und Glazialgeologie (s. u. in Kap. V) zum Austrage bringen zu können [278]. Mit einer Karte für die Epoche a vergleicht man ein zweites für die Epoche b ($>$ a) gezeichnetes Tableau, und nun zeigt sich einwurfsfrei, welche Veränderungen in der Gestalt und Grösse des Gletschers durch den Zeitraum (b — a) bedingt gewesen sind. Das ist ein Ideal, welchem nachgestrebt werden muss, welches sich aber natürlich nur in langsamen Etappen erreichen lässt. Sind doch von Finsterwalder, Blümcke und Hess bei der erwähnten Karte nicht weniger denn 2110 Punkte tabellarisch eingetragen worden [279]. Glücklicherweise gibt es aber auch subsidiäre Massnahmen, welche eine so hoch gespannte Akribie nicht erfordern und doch für die wichtigste der zu lösenden Aufgaben, die Ermittlung der Translationsgeschwindigkeit des Gletschers, völlig ausreichend befunden wurden.

Der von F. Pfaff [280] als Mikrogoniometer bezeichnete Apparat, durch den sehr kleine Längenveränderungen in Winkelveränderungen umgesetzt und so messbar gemacht werden, scheint allerdings allein von seinem Erfinder in den Dienst der Gletschermessung gestellt worden zu sein. Immerhin schlossen sich an ihn, wenigstens dem metrischen Grundgedanken nach, K. R. Koch und Klocke [281] an; letzterer schildert [282] das Prinzip des Messungsverfahrens, wie folgt: „Man befestigt an einem in das Eis eingesetzten Pfahle eine horizontale und eine vertikale Skale und beobachtet beide durch ein am Ufer absolut fest aufgestelltes, mit Fadenkreuz versehenes Fernrohr. Bewegt sich das Eis mit den Skalen, so wandern deren Teilstriche durch das Fadenkreuz, und es kann die Grösse und Richtung der Bewegung somit direkt abgelesen werden." Pfaff hat dann diese Bewegungskontrolle durch graphische Darstellung der Skalenverschiebung noch verschärft und zugleich, durch Anbringung einer Beleuchtungsvorrichtung, auch auf die Dunkelheit ausgedehnt [283]. Dem analog, wenn schon mit einigen Abänderungen, durchgeführten Messungsmodus, angewandt auf den Obersulzbachgletscher (Kaprunerthal) durch E. Richter [284], werden sehr wertvolle Anhaltspunkte über chronische Gletscherveränderungen verdankt, auf die uns §. 13 zurückführen wird. Nebenher ging eine andere Methode, die sich mit kurzen Worten dahin kennzeichnen lässt: Quer über den Gletscher weg werden äquidistante Punkte fixiert, deren wechselseitige Ortsveränderungen durch direkte Beobachtung oder durch Anschneiden (S. 303) von einem Randpunkte aus ermittelt werden können. Der erste in dieser Richtung unternommene Versuch — der jüngere Escher v. d. Linth arbeitete auf dem Aletsch-, L. Agassiz auf dem Aaregletscher — verlief erfolglos [285]; man hatte Stangen in Löcher eingefügt, aber schon nach kurzer Zeit waren die Stangen umgestürzt, die Bohröffnungen unkenntlich geworden. Später lernte Agassiz diesen Misständen vorzubeugen, und Tyndall konnte [286] mittelst einer solchen Stangenreihe auf dem „Mer de Glace" sehr brauchbare Resultate erzielen. Immerhin war Forels Vorschlag [287], die diskontinuierliche Pfahlreihe durch eine kontinuierliche und schon ihrer Niedrigkeit wegen störenden Einwirkungen so gut wie ganz entrückte Steinreihe zu ersetzen, eine Verbesserung; im Sinne von Fig. 150 war die Steinfolge a, deren einzelne Glieder Nummern trugen und durch übereinstimmende Färbung sich deutlich vom Grunde

abhoben, nach einiger Zeit in die Steinfolge b übergegangen, und nun sah man sofort, wo die Gletscherbewegung ihren stärksten Ausdruck fand. Um auch die

Fig. 150.



wechselnde Gletschertiefe messen zu können, nivellierte Forel bei seiner Aufnahme des Rhônegletschers auf jeder der Transversallinien, welche mit Steinen belegt worden waren, ein Querprofil ein [288]. Notiert muss übrigens werden, dass in neuester Zeit Blümcke und Hess (s. o.) Löcher im Eise, die nur eben tief genug ausgebohrt sein müssen, als sehr verlässige Marken kennen und den Steinen Forels sogar vorzuziehen gelernt haben. Mit einzelnen Gletschern haben sich manche Forscher besonders liebevoll beschäftigt; gerade mustergültig ist z. B. die Sorgfalt, mit welcher Seeland [289] alle Zustandsänderungen des der Glocknergruppe angehörigen Pasterzengletschers überwachte. Nicht minder erfolgreich bethätigte sich F. Simony im Dachsteingebirge, wo vor allem das Karlseisfeld jahrzehntelang sein Studienobjekt bildete [290]. Diese und noch manche andere Untersuchungen sind es gewesen, welche Heim [291] das Material zu seiner systematischen Darstellung der thatsächlichen Modalitäten der Gletscherbewegung lieferten.

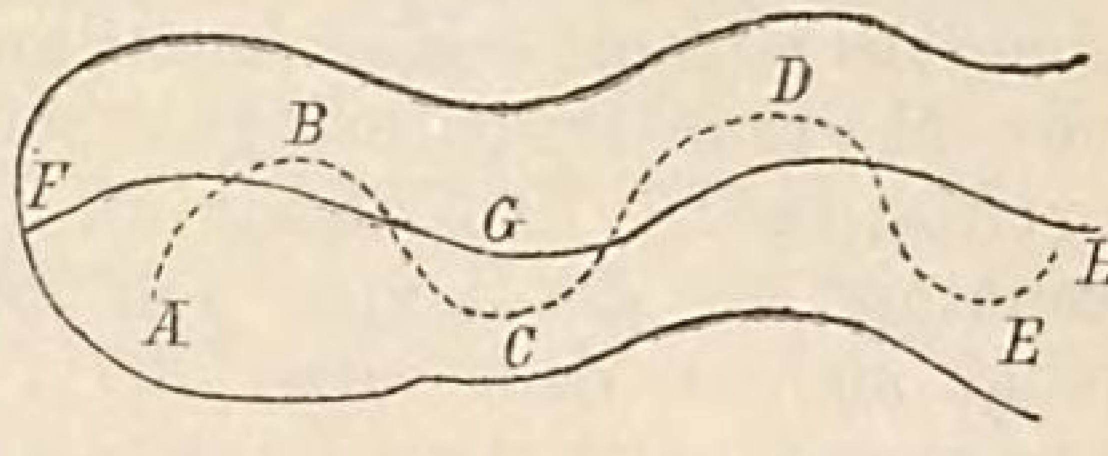
Jeder Gletscher bewegt sich, und zwar kann die Bewegung als eine im allgemeinen stetige angesehen werden. Dieses letztere Wort wolle ja nicht mit gleichmässig verwechselt werden; es ist damit nur ausgesagt, dass die Bewegung nicht ruckweise erfolgt, und dass während eines endlichen, wenn auch noch so kleinen Zeitraumes kein Teilchen innerhalb der Gletschermasse in völliger Ruhe verbleibt. Auch die Geschwindigkeitsabnahme von der Oberfläche nach innen zu scheint kontinuierlich zu erfolgen. Dagegen lässt sich bei den einzelnen Gletschern kein durchgreifendes Gesetz dafür ausmitteln, in welchem Teile der Fläche die Bewegung eine raschere oder minder rasche ist; die Mehrzahl der Fälle lässt erkennen, dass gegen Ende hin die Bewegung allmählich abnimmt [292], aber immer trifft das nicht zu. Eine achsiale Maximalgeschwindigkeit, die sich beidseitig gegen die Ränder hin vermindert, lässt sich regelmässig nachweisen; die Geschwindigkeiten brauchen aber zu beiden Seiten der Achse nicht etwa symmetrisch verteilt zu sein, vielmehr fand Tyndall [293], dass die Osthälfte des „Mer de Glace“ sich schneller als die Westhälfte bewegt. Ein unverkennbares Merkmal der Bewegung sind die Gletscherspalten, welche uns über manche, sonst schwer eruierbare Einzelfrage Auskunft geben.

Um über die Verteilung der Oberflächengeschwindigkeit zu orientieren, lassen wir Forels (s. o.) Tabelle abdrucken. Es waren zwischen den beiden Ufern des Gletschers, lotrecht zu dessen Achse, 53 Steine gelegt; N bedeutet die fortlaufende Nummer, b die jedem Individuum zukommende mittlere Jahresbewegung in m.

N	b	N	b	N	b	N	b	N	b	N	b
1 bis 4	?	15	79,1	23	95,8	31	97,1	39	89,0	47	67,5
5	12,9	16	82,4	24	96,7	32	97,0	40	87,4	48	60,7
8	43,3	17	85,3	25	98,2	33	95,9	41	85,5	49	50,7
10	50,9	18	88,2	26	98,0	34	95,1	42	83,4	50	39,2
11	58,0	19	90,2	27	98,0	35	94,2	43	81,3	51	25,8
12	65,1	20	92,1	28	98,4	36	93,4	44	79,3	52	18,0
13	70,4	21	94,3	29	98,1	37	92,1	45	75,9	53	10,0
14	75,1	22	95,8	30	98,0	38	90,3	46	71,3	—	—

Aus dieser den Rhônegletscher betreffenden Statistik folgt eine auch sonst zutreffende, mithin typische Thatsache: Die Randgeschwindigkeit ist minimal; dann wächst die Bewegungstendenz zuerst sehr rasch, später aber ziemlich langsam, bis sie ein grösstes wird. Konstruiert man aber die Ortskurve der Maximalgeschwindigkeit, so zeigt sich nach Tyndalls einschlägiger Figur [294] (Fig. 151), dass jene, durch die Linie ABCDE dargestellt, nicht mit der geometrischen Gletscherachse FGH zusammenfällt. Näher ausgeführt hat die durch diesen Sachverhalt angedeuteten Beziehungen Heim [295], indem er die wichtige Bemerkung machte, dass die Rückenlinie der Gletscherwölbung annähernd genau dem geometrischen Orte der Bewegungsmaxima folgt. Hinsichtlich der Geschwindigkeitsverteilung in den Querschnitten ergibt sich [296] eine Gesetzmässigkeit, welche ganz an diejenige erinnert, die wir im nächstfolgenden Kapitel bei den fliessenden Gewässern kennen zu lernen haben werden.

Fig. 151.



Die rascheste Bewegung hat, soweit bekannt, von den alpinen Gletschern der des Mont Talèfre (nächst dem Montblanc); im Tagesmittel sind 0,359 m konstatiert worden [297]. Für die schweizerischen und skandinavischen Gletscher gilt als Durchschnittsregel, dass die zentralen Teile pro Jahr um 40 bis 100 m vorrücken. Auch Neu-Seeland ordnet sich dieser Norm ein; für die verschiedenen Gletscher des Mount Cook ermittelte Baker resp. 40, 45, 62 m im Jahre, und nur in einem Ausnahmefalle wurden hoch oben 104 m gemessen [298]. Ueberraschend rapide Bewegungen sind im Himálaya und noch mehr — durch Helland [299] — bei den Gletscherausläufern des grönländischen Inlandeises beobachtet worden. Das Maximum in letzterem Falle betrug 14 Minutenmillimeter; hier also kann das Auge bequem dem Zuge des Gletschereises folgen.

Die Gletscherspalten sind eine bekannte, vom Touristen gefürchtete Zugabe jeder Gletscherwanderung; bei ganz aperem Eise haben sie wenig zu bedeuten, während Schneebedeckung des Gletschers Anseilung zur Pflicht macht. Wenn wir die Spalten (franz. crévasses; ital. crepature) in Gruppen teilen wollen, kommen wir ganz ungesucht zur Klassifikation der Rand-, Quer- und Längsspalten.

a) Randspalten (crévasses marginales). Dieselben können niemals ganz fehlen, weil sie einfache Konsequenz des Fliessens einer dickflüssigen (S. 733) Masse sind [300]. Die Krümmung der Randspalten hat mit jener der Schmutzbänder Aehnlichkeit, indem die Richtungen ersterer im Mittel Winkel von $\pm 45^0$ einschliessen. Die mechanischen Motive dieser Randbildung setzt Tyndall [301] auseinander, der jedoch ausdrücklich nur auf der von Hopkins [302] gelegten Basis zu stehen angibt.

b) Quer- oder Transversalspalten (crévasses médianes). Wäre das Gletscherbett eine gleichmässig geneigte Ebene, so gäbe es solche Spalten nicht. Ihr Vorkommen verrät stets plötzliche Gefällsänderungen des Gletscherbodens [303]. „Der Gletscher ist dann in der Lage eines Stockes," sagt Tyndall [304], „den wir zerbrechen wollen, indem wir seine beiden Enden halten und ihn gegen unser Knie stemmen."

c) Längs- oder Longitudinalspalten (crévasses longitudinales). Deren unumgängliche Voraussetzung ist plötzliche Querschnittsänderung in dem Sinne, dass der Gletscher in eine Thalerweiterung eintreten muss. Das Eis breitet sich seitlich aus, und da jetzt die Masse zu klein ist, um den verfügbaren Raum ganz auszufüllen, müssen Spalten längs der Achsenrichtung aufklaffen [305]. Berühmt durch diese Spaltenart ist der Rhônegletscher (S. 735).

Ein einheitliches Bild von den Relationen des Spaltensystemes zum Gletscherleibe gewinnen wir, wenn wir mit Heim [306] die im Inneren des Gletschers wirkenden Kräfte in zwei Gruppen sondern. Es sind teils Zug-, teils Druckkräfte (I, S. 358), von denen jeder Punkt beeinflusst wird, und man kann in jedem einzelnen Falle durch Resultanten-

bildung die Richtung des stärksten Druckes und die Richtung der stärksten Zugspannung konstruiert denken. Jede solche Richtung ist Berührende einer Kurve, und man kann alle diese Linien als Einhüllende der betreffenden Geraden verzeichnen, so dass dann jede der Oberfläche parallel gelegte Schnittfläche in zwei Scharen sich rechtwinklig durchschneidender Kurven zerlegt erscheint: in ein System von Kurven des Maximaldruckes und in ein System von Kurven des Maximalzuges. Die beiden Systeme gehören zu einander als orthogonale Trajektorien (vgl. I, S. 217, 314). Mit dieser Erkenntnis an die Lehre von der Gletscherdynamik herantretend, gelangt man zu dem Satze [307]: Klaffende Spalten stehen überall senkrecht auf den Richtungen grösster Streckung (den Zugkurven); Wülste und blaue Blätter (S. 732) stehen gleicherweise senkrecht auf den Richtungen grösster Pressung (den Druckkurven).

Nunmehr leuchtet ein, dass durch Spaltenbildungen ein Gletscher oder Gletscherteil geradezu in einzelne Stücke zerlegt werden kann. Aus der in Kap. V zu erörternden allgemeinen Theorie der klastischen Vorgänge (κλαστός, zerbrochen) folgt, dass die Trümmer von Hause aus eine wesentlich parallelepipedische Gestalt haben werden, wenn auch selbstverständlich die Unzahl von Umformungen, denen das Eis mehr denn ein anderer Körper ausgesetzt ist, die Normalform nicht lange bestehen lassen. Immerhin sind die Séracs der Walliser und Savoyischen Gletscher — das Wort bedeutet im Patois nach Martins [308] und Tyndall [309] würfelförmige Käse — schon durch ihren Namen als ursprünglich rechtwinklig begrenzte Bruchkörper legitimiert. Séracs sind den obersten Gletscherregionen eigen, wo dieses Chaos zerrissener Eistürme, mit tiefen Schründen dazwischen, den Bergsteiger arg behindert. Weiter abwärts pflegt die Zerklüftung keine so gewaltigen Dimensionen mehr anzunehmen, obwohl Spalten unaufhörlich neu entstehen. Das bald singende, bald mit einem Knalle auftretende Geräusch begleitet jeden Gletscherwanderer, der sich allmählich darauf einübt [310], es von dem früher (S. 730) erwähnten, durch Insolation erzeugten Knistern, von dem Donner ferner Lawinenstürze und von dem Durchbruchskrachen zu unterscheiden, welches das interglaziale Wasser, zumal in den Gletschermühlen (S. 736), verursacht.

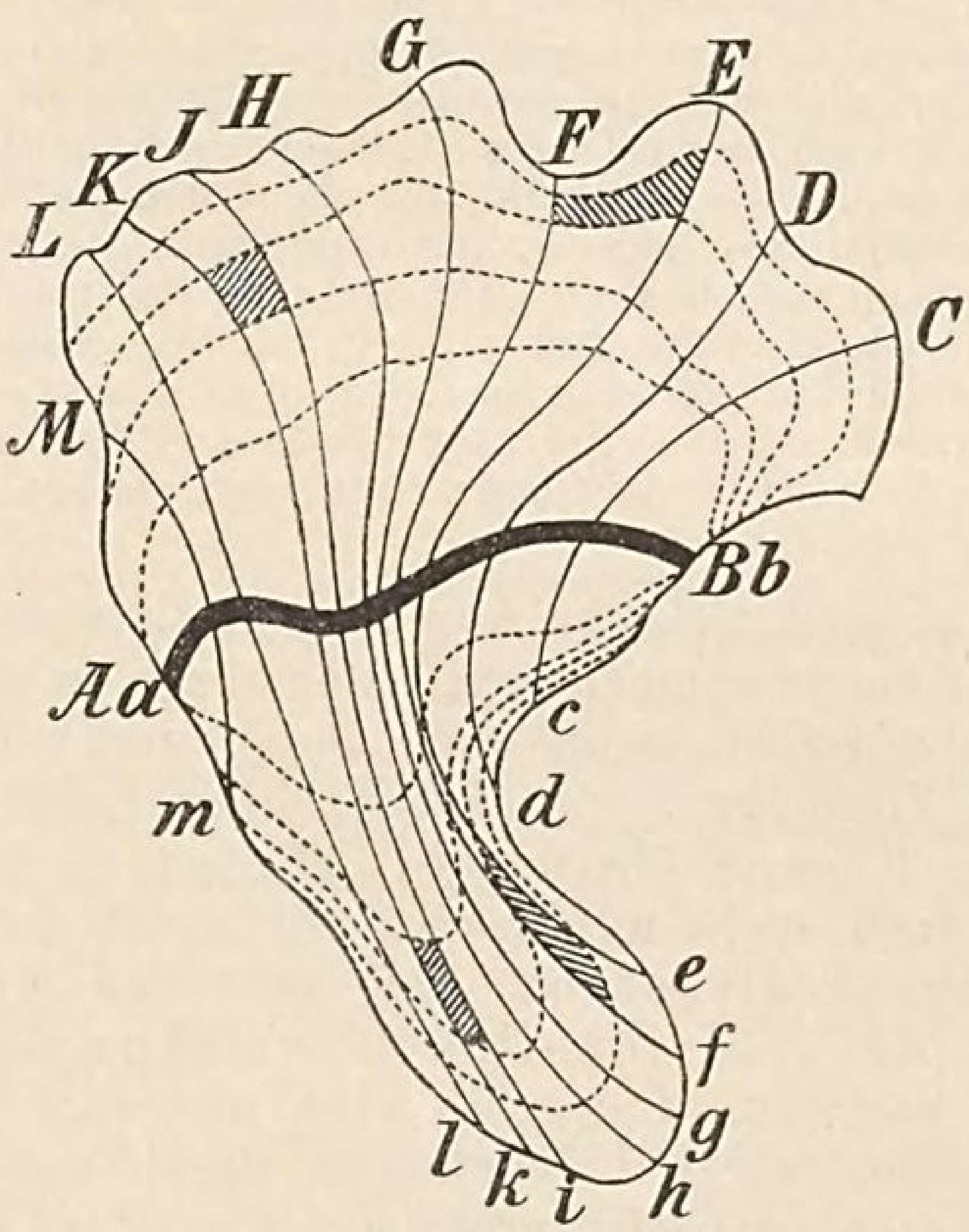
§. 11. **Theorie der Gletscherbewegung.** Die auffällige, sonst nirgends wahrzunehmende Erscheinung, dass eine feste Masse, ähnlich einer flüssigen, mit majestätischer Langsamkeit sich auf abschüssiger Unterlage abwärts bewegt, hat das menschliche Kausalitätsbedürfnis in selten hohem Grade angeregt. Heim führt [311], nur bis zum Jahre 1882, nicht weniger denn 47 Forscher auf, welche Erklärungen für diesen Bewegungsakt zu geben versucht haben, und auch seitdem hat die Forschungsthätigkeit wahrlich nicht geruht. Fundament jeder Untersuchung wird immer sein: Gletschereis ist ein dickflüssiger Körper, und die hydro- oder besser plastikodynamischen Grundlehren (S. 352) müssen durch jede Bewegungstheorie erfüllt werden. Unser erstes Geschäft wird es daher sein, zu prüfen, inwieweit wirklich die Bewegung des Körpers als ein Fliessen betrachtet werden kann; die Frage, wie man sich den Prozess des Fliessens zu denken habe, tritt in die zweite Linie. Für das Hauptproblem hat eine höchst wertvolle Förderung gebracht die Auffassung, welche sich Finsterwalder [312] bei den aus §. 11 bekannten Studien über den Vernagtferner gebildet hat.

Ehe wir jedoch näher hierauf eingehen, möge noch einmal die schon bei früherer Gelegenheit (I, S. 352) festgestellte Thatsache ins Gedächtnis zurückgerufen

werden, dass das Fliessen nicht ausschliesslich eine Eigenschaft tropfbar-flüssiger Substanzen ist, sondern dass auch feste Körper durch geeignete Mittel in wirklichen Fluss — der aber nicht etwa Schmelzfluss ist — gebracht werden können. Das haben Trescas Versuche [313] ausser Zweifel gesetzt, an welche sich diejenigen L. Hartmanns [314] anreihen. Auch Grunmach [315] zeigte, dass, wenn ein mit Gewichten belasteter Stab über die sogenannte Streckgrenze hinaus beansprucht wird, an seiner Oberfläche die Streckfiguren — orthogonale Kurven, die den oben bestimmten des grössten Druckes und Zuges entsprechen — zu Tage treten, und wenn dieser Fall vorliegt, sprechen die Mechaniker vom Fliessen der Metalle. Was bei diesen relativ starren Körpern möglich ist, wird folglich noch weniger dem Gletschereise abgesprochen werden dürfen.

Finsterwalder bezeichnet seine Theorie als eine rein geometrische. Er nimmt an, die Gletscherbewegung sei eine — von Ausnahmestellen abgesehen —

Fig. 152.



stetige und zugleich stationäre (S. 521); alsdann sind die Komponenten der in einem gegebenen Punkte vorhandenen Geschwindigkeit unabhängig von der Zeit. Wir haben am fraglichen Orte gesehen, dass sich Zöppritz durch die Verbindung der Lehre von der stationären Strömung mit der Theorie der Meeresströmungen um letztere ein nachhaltiges Verdienst erwarb, und nicht anders wird es sich auch im vorliegenden Falle verhalten. Zunächst ist für das Verständnis der Bewegung schon dadurch ein Vorteil erreicht, dass eine eindeutige, von der Zeit unbeeinflusste Beziehung zwischen den Punkten des Firnbodens und des Ablationsgebietes hergestellt ist; jedem Punkte des ersteren Bereiches, dem Hochschnee aus der Luft zukommt, ist ein — und nur ein — bestimmter Punkt des anderen Bereiches zugeordnet, und beide Punkte sind durch eine im Inneren des Gletschers verlaufende Linie, die Stromlinie, miteinander verbunden; ein Teil dieser Linie geht durch lauter Punkte, in denen Schnee fällt, und ein anderer Teil durch Punkte, in denen dieser Schnee zu Wasser wird. Nur die Firnlinie, in welcher Sammel- und Abschmelzungsgebiet zusammenstossen, geht durch diese Abbildung der beiden Parzellen aufeinander in sich selber über. In Fig. 152 sind nach Finsterwalder [316] durch gestrichelte Linien die Stromlinien verzeichnet, vier im oberen und die zugehörigen vier im unteren Gletscherteile. Nebstdem sind auch, und zwar ganz ausgezogen,

die ihrer ganzen Ausdehnung nach auf der Oberfläche verlaufenden Bewegungslinien eingetragen, wie solche etwa von einem am oberen Rande des Firnbodens auf diesen gelegten Körper beschrieben werden würden; mit den grossen lateinischen Buchstaben des Firnrandes korrespondieren die kleinen am Ende der Gletscherzunge. Zwei einander zugeteilte Bezirke, wie wir sie durch Schraffur kenntlich gemacht haben, sind derart materiell aufeinander bezogen, dass der Abtrag unten und der Zuwachs oben sich decken. Eine sehr kleine Netzmasche im Firn sei durch dF, die ihr entsprechende im Eis durch df bezeichnet; A und a seien die auf dF und df in der Zeiteinheit entfallende Akkumulation und Ablation. Die Stromlinien von dF sollen den Firnrand mit der Geschwindigkeit V und unter dem Winkel Φ, die Stromlinien von df sollen den Gletscherrand mit der Geschwindigkeit v und unter dem Winkel φ treffen; alsdann bestehen folgende Gleichungen:

$$A : a = dF : df; \quad \sin \Phi = A : V; \quad \sin \varphi = a : v.$$

Das Studium der Moränenverhältnisse gewinnt unter diesen Voraussetzungen sehr an Durchsichtigkeit. Man kann zeigen [317], dass die Bildung von Mittelmoränen aus schon vorhandenen Oberflächenmoränen, wie sie oben (S. 736) schematisch geschildert wurde und auch zumeist zutrifft, keine unerlässliche Notwendigkeit zu sein braucht, indem, wenn eine Insel aus dem Gletschereise emportaucht, der Randschutt, den Stromlinien folgend, auf den Grund gezogen und erst am Ende der Zunge freigegeben werden kann. Die Existenz der Innenmoränen (S. 737) ist schon damit als ursächliche Konsequenz des Strömungsprozesses erhärtet. Manche anscheinende Oberflächenmoräne ist nur das ans Licht hervortretende Schlussstück einer Innenmoräne [318]. Vor allem auch lässt sich die Bewegung, wie sie in der Zunge stattfindet, viel genauer beschreiben, als es ohnedies möglich wäre.

Wenn nun auch nicht in Abrede gestellt werden soll, dass bei keinem Gletscher die Annahmen, von denen die Strömungstheorie ausgeht, in aller Strenge zutreffen, wenn auch eingeräumt wird, dass manchmal „tumultuarische Vorgänge", wie sich Finsterwalder ausdrückt [319], eine einheitliche Theorie überhaupt illusorisch machen, so ist diese letztere darum doch nicht minder bedeutungsvoll; charakterisiert sie doch einen Idealzustand, wie er bekannt und erforscht sein muss, um die individuellen Abweichungen um so sicherer beurteilen zu können. Immerhin wird, und wäre es nur historischen Rücksichten zuliebe, von den Hypothesen, durch welche man im Laufe der Zeiten das Wesen der Gletscherbewegnng erklären zu können glaubte, nicht Umgang zu nehmen sein. Die Gausssche Theorie des Erdmagnetismus befreite nicht von der Verpflichtung (I, S. 560) der Quelle der magnetischen Erdkraft weiter nachzuspüren, und Zöppritz (s. o.) fand sich veranlasst, für das Zustandekommen der stationären Meeresbewegung den letzten Grund im stetigen Luftimpulse aufzudecken. So auch hier; nur kann an jede Interpretation das Ansinnen gestellt werden, dass sich dieselbe nicht mit den Grundsätzen der ganz hypothesenfreien Strömungstheorie, wie wir sie soeben vorgeführt haben, in Widerspruch setzen dürfe. Wir werden die bekannteren Hypothesen nachstehend kurz erläutern.

a) Dilatationshypothesen. Dieselben gehen auf den Begründer (S. 724) der wissenschaftlichen Gletscherkunde, auf Scheuchzer, zurück. Er hielt dafür [320], dass fortwährend tropfbares Wasser in die Gletschermasse eindringe, dort gefriere und sich beim Akte des Festwerdens in bekannter Weise ausdehne. Diese stetige Dilatation treibt das Eis abwärts, weil es zu beiden Seiten nicht ausweichen kann und von oben her immer neue Massen nachrücken. Von Charpentier (s. o.) und zuerst auch von Agassiz unterstützt, fand diese Lehre viele Freunde [321]. Man kann dagegen einwenden [322], dass im Winter, wo es an flüssigem Wasser fehlt, die Bewegung erlahmen müsste, was doch mit den That-

sachen nicht stimmt. Schwerer noch wiegt Heims Einwurf [323], dass doch eine Vermehrung des Volumens die Folge dieser massenhaft sich wiederholenden Ausdehnungsprozesse sein müsste. Es müsste eine Aufwölbung des eingezwängten Eises nach oben eintreten, ganz ebenso, wie eine Bewegung thalabwärts. Nun ist ja zuzugeben, dass auch Erhebungen der Gletschermasse vorkommen [324], aber es handelt sich dabei doch nur um ganz verschwindende Beträge, während, wenn Scheuchzers Ursache die thatsächlich massgebende wäre, das vertikale Wachstum des Gletschers auch ohne feine Instrumente zu konstatieren sein müsste.

b) Kornwachstumshypothesen. Nachdem man das Gletscherkorn als die körperliche Einheit des ganzen Eismassivs erkannt hatte, lag es nahe, das Kornwachstum als Bewegungsursache anzusprechen. So urteilten, im Anschluss an Hugi [325], folgeweise Élie de Beaumont [326], Ladame [327], Nicolet [328], Bertin [329], Grad [330], und besonders auch Forel [331]; wenn vor ihnen allen schon Biselx [332] behauptete, dass allgemeine Durchtränkung und Durchfrierung des Gletschers Bewegung hervorbringe, so hatte er sich wohl eine analoge Vorstellung gebildet. Am meisten durchgebildet zeigt sich die Idee bei Forel, der durchaus nicht einseitig auf dem in Rede stehenden Momente verharrt, sondern dieses nur als das einflussreichste — neben anderen mitwirkenden Agentien — betrachtet. Der waadtländische Forscher trennt, vom Firn Abstand nehmend, auch das eigentliche Abschmelzungsgebiet in zwei Teile von thermisch verschiedenem Charakter. Der obere Teil (Glacier adolescent) reicht bis dahin, wo in der Tiefe der Gletscherbach (S. 735) seinen Anfang nimmt; hier wird noch alles Infiltrationswasser absorbiert. Im unteren Teile (Glacier sénile) arbeitet die Sommerwärme energisch an der Auflösung des Gletschers, und da das Kornwachstum eine Funktion zweier veränderlicher Grössen ist, nämlich der winterlichen Durchkältung und der sommerlichen Durchtränkung, so entwickelt es sich immer kräftiger im altersschwachen Gletscherteile, wo ein Ueberfluss von Wasser vorhanden ist. Von Heims Gegengründen [333] sei einer namentlich hervorgehoben: In Grönland kann von einer senilen Gletscherpartie und von namhafter Imbibition für gewöhnlich nicht die Sprache sein, und gleichwohl eignet den dortigen echten Gletschern eine sehr lebhafte Bewegung (S. 741). Diese letztere würde durch die Hugi-Forelsche Hypothese kaum zu erklären sein. Auch hat Forel selbst sich den Vorhalt gemacht (s. o.), ob denn nicht angesichts der Thatsache (S. 731), dass die Infiltrierbarkeit des Gletschereises nur eine sehr geringe ist, die erwähnte Erklärung des internen Kornwachstums auf Bedenken stosse, und in Konsequenz dieser Schwierigkeit hat er eine Modifikation der eigenen Theorie als notwendig erkannt.

c) Hypothese der internen Temperaturschwankungen. Moseley will [334] beobachtet haben, dass eine Metallplatte, die auf eine schiefe Ebene gelegt und bald erwärmt, bald abgekühlt wird, langsam abwärts rutsche. Gegen ihn und Browne [335], der auf Moseleys Experiment zurückkam, hat schon Matthews [336] eingewendet, dass ein tieferes Eindringen der Veränderungen der Luftwärme in den Eiskörper undenkbar sei. Ueberhaupt widerspricht die ganze Art und Weise, wie sich der Gletscher bewegt, solch schematischer Auffassung.

Die drei vorbesprochenen Hypothesen haben das gemeinsam, dass sie wesentlich nur interne Gletscherkräfte als bewegend gelten lassen. Die Schwere spielt nur eine untergeordnete Rolle; nur weil eben von Hause aus die Eismasse auf einer Unterlage aufruht, welche des Gefälles nicht entbehrt, vollzieht sich die Bewegung als Abstieg. Andere Forscher schreiben aber der Schwere eine weit tiefer gehende Mitwirkung zu; diese Kraft gilt ihnen nicht nur als die den Weg bestimmende, sondern sogar als die auslösende, und damit ist uns das Recht gegeben, die einschlägigen Ansichten unter dem Namen der Gravitationshypothesen zusammenzufassen. Im einzelnen bestehen aber doch wieder beträchtliche Verschiedenheiten.

d) Die Gleitungshypothese. Die noch ungeklärten, aber die nämliche Richtung einhaltenden Anschauungen seiner Vorgänger Altmann und Gruner

bildete Saussure weiter aus und kam so zu nachstehender — nach Tyndall [337] wiedergegebener — Erklärung des Vorganges. „Fast jeder Gletscher ruht auf einem geneigten Bette, und die Gletscher von irgend bedeutender Grösse enthalten selbst im Winter Wasserströme, die zwischen Eis und Bett fliessen. Man kann daher verstehen, dass diese gefrorenen Massen, die den Hang, auf dem sie ruhen, abwärts gezogen werden, durch das Wasser von jeder Berührung mit dem Boden losgelöst, bisweilen durch das Wasser selbst gehoben werden, langsam gleiten müssen, und indem sie den Neigungen der Thäler oder der Abhänge, die sie bedecken, folgen, abwärts fallen müssen. Es ist dieses langsame, aber unaufhörliche Gleiten des Eises auf seiner geneigten Basis, das es in die niedrigeren Thäler trägt.“ In dieser extremen Form ist die Hypothese aus mechanischen Gründen ganz unhaltbar. Wäre nämlich die allgemeine Schwere allein beteiligt, so müsste der Gletscher, den Gesetzen der gleichförmig beschleunigten Bewegung gemäss, je weiter nach unten zu, um so mehr in lebhafte Bewegung versetzt werden, zumal da auch nach Saussures Annahme von irgend nachhaltigeren Reibungswiderständen nicht die Rede sein könnte. Die Beobachtung überführt uns aber vom geraden Gegenteile. Immerhin kann nicht schlechtweg gegen Saussure als gegen den Vertreter einer Ansicht polemisiert werden, mit welcher sich andere seiner Ausführungen durchaus nicht vertragen [338]. Wenn er nichts anderes als das sagen wollte, dass die Abwärtsbewegung der Gletscher zum Teile als ein Herabgleiten aufzufassen sei, so war er im Rechte, wie dies Hopkins ausgedehnte Experimentaluntersuchungen (S. 741) beweisen.

e) **Die Verflüssigungshypothese.** Auf das Eindringen der Sonnenwärme führt Croll [339], auf die Beeinflussung durch hohen Druck (S. 733) führt J. Thomson [340] ein vorübergehendes, von Ort zu Ort rasch wechselndes Flüssigwerden des starren Eises zurück; dadurch werde die Bewegung nach unten, im Verbande mit der Schwere, in Gang erhalten. Gegen Crolls Argument spricht (S. 733) die starke Diathermansie des Gletschereises. Weit mehr innerer Wert kommt der zweiten Deutung des Vorganges zu, von welcher Heim, trotz Tyndalls [341] entschiedenem Widerspruche, zugeben will [342], dass dadurch zwar nicht der komplizierte Bewegungsakt an sich, wohl aber einer der bedingenden Faktoren Aufklärung gefunden habe.

f) **Die Plastizitätshypothesen.** Nachdem Bordier schon 1750 dem Eise Plastizität (vgl. S. 732) zugeschrieben hatte [343], führte Rendu (S. 728), diesen Grundgedanken aufs geschickteste verwertend, sein originelles Lehrgebäude der Gletscherphysik auf, in welchem er bereits mehrere erst von der Folgezeit systematisch begründete Thatsachen mit genialem Blick verwertete. Ebenso stellte Forbes den von ihm in zahlreichen Abhandlungen [344] immer wieder neu variierten Satz auf: Der Gletscher ist nichts anderes als ein Strom schwerflüssiger Materie. Dass er dabei, wie ihm [345] Tyndall und Thomson-Tait vorhalten, den Unterschied zwischen Zäh- und Dickflüssigkeit noch nicht gebührend betonte, kann dem unleugbaren Verdienste des schottischen Gelehrten kaum einen Eintrag thun. Auch H. Schlagintweit zählt [346] zu den frühesten Anhängern der Plastizitätstheorie. Als man jedoch in eine eingehendere Prüfung dessen, was man als plastische Umbildung kurz bezeichnete, einzutreten veranlasst ward, da stellte sich heraus, dass zweierlei Möglichkeiten vorlagen. Man konnte an vollkommen bruchlose Umformung, man konnte aber auch daran denken, dass zwar das Eis fortwährend durch Bruch und Auflösung des Zusammenhanges hindurchgehen müsse, dass dann aber sofort eine Wiederverkittung durch Regelation (S. 733) statthabe. Der ersteren Alternative waren Bianconi [347] und F. Pfaff [348] geneigt; für die zweite entschieden sich neben Hopkins (s. o.) hauptsächlich Tyndall [349] und Helmholtz [350]. Auch Heim glaubt in dieser Lehre den Schlüssel zur Erschliessung mancher noch unaufgehellter Rätsel zu erkennen, falls man noch eine Ergänzung anbringt [351]: Der innige Zusammenhang, welcher zwischen Plastizität infolge von Druck und Regelation auf der einen, der Kornstruktur (S. 730) auf der anderen Seite obwaltet, ist das in letzter Instanz massgebende Element. „Das Gletscherkorn“ — sozusagen das, was man bei tropfbaren Flüssigkeiten als das von den bewegenden Impulsen beeinflusste Molekül heraushebt — „erleichtert die Bewegung; die Bewegung öffnet und schliesst abwechselnd die Fugen zwischen den Körnern, die Haarspalten.“

Indem wir vorausschicken, dass die Bewegung des Inlandeises uns nochmals zu einem nächstverwandten Probleme zurückführen wird, ziehen wir ein kurzes Fazit aus den bisherigen Erörterungen. Der Gletscher fliesst wirklich; die Analogie zwischen Gletscher und Fluss, wie sie Tyndall [352] in glänzender Sprache erläutert, ist eine thatsächliche, wenn schon die Verschiedenheiten im Verhalten mehr oder minder viskoser Massen (I, S. 346) nicht ausser acht gelassen werden dürfen. Plastisch gegen Druck, unnachgiebig gegen Zug, wird die Eismasse vom Zuge der Schwere genötigt, in ihre absteigende Bewegung zu geraten, aber dass diese Bewegung sich so, wie wir es erfuhren, abspielt, dafür ist der Umstand verantwortlich zu machen, dass der Gletscher keine homogene Masse, sondern ein Aggregat von Körnern ist, welche ohne die stetige Arbeit der Regelation nur lose aneinander haften würden.

Bei dieser Sachlage kann man wohl daran denken, die Gletscherbewegung im Experimente nachzubilden. Solche Versuche stellte Bottomley [354] mit Schusterpech an. Direkter noch führt zum Ziele der Anblick von K. R. Kochs [355] künstlichen Gletschern, neben denen auch die Nachbildungen Heims [356] ins Gewicht fallen. Kolophoniumartiges Pech wurde von Koch als besonders geeignet erfunden, weil es, während es sich an der mit der Luft in Berührung stehenden Oberfläche mit einer spröden Haut bedeckt, im Inneren seine Plastizität vollkommen beibehält.

§. 12. **Vorstoss und Rückgang der Gletscher.** Wir haben in §. 10 und 11 die Bewegung der Gletscher genau kennen gelernt, aber doch hat sich ein überaus wichtiger Punkt noch unserer Kenntnisnahme entzogen. Man könnte nämlich nach den bisherigen Ausführungen glauben, dass der Ort, bis zu welchem die Gletscherzunge hinabreicht, ein unveränderlicher oder doch nur kleineren, zufälligen Veränderungen ausgesetzt sei. Allein in Wirklichkeit verhält es sich ganz anders. Eine Reihe von Jahren hindurch steigt der Gletscher in immer tiefere Regionen hinab; dann pflegt er einige Zeit stationär zu bleiben und hierauf immer weiter zurückzugehen, bis sein Volumen endlich ein kleinstes wird und nunmehr wieder langsam zu wachsen beginnt. Perioden des Vorstosses und Rückganges, des Wachsens und Schwindens wechseln miteinander ab. Wir werden uns zunächst mit den Gletscherschwankungen der geschichtlichen Zeit beschäftigen und weiter zusehen, was uns ihr Studium für analoge Vorkommnisse in geologischer Vorzeit lehren kann.

Die Thatsache selbst, dass der vom Gletschereise überdeckte Raum sich nicht immer gleich bleibt, war schon im XVIII. Jahrhundert wohl bekannt. Dass man die Moränen als Marken für die Art und Intensität dieser Bewegung grossen Stiles benützen könne, scheint zuerst Saussure bemerkt zu haben [357]; später war es besonders Venetz, dessen übersichtliche Abhandlung [358] namhaftes Aufsehen erregte. Allmählich sammelte sich ein stattliches Material von Beobachtungen an, deren Sichtung von Fritz [359] und, mit grösstem Erfolge von Forel [360], angebahnt wurde. Seitdem eine internationale Gletscherkommission besteht (1895), zu deren wichtigsten Aufgaben eben sozusagen diese Gletscherpolizei gehört, werden zusammenfassende Referate über die allenthalben auf der Erde gesammelten Erfahrungen erstattet [361]. Unseren Wissensstand im Jahre 1885 kennzeichnet das Werk von Heim [362], denjenigen im Jahre 1891 eine umfassende Arbeit von E. Richter [363]. Da seitdem noch eine Fülle von Detail neu hinzugetreten ist, so verbietet sich eine irgend ausführliche Schilderung des Verhaltens einzelner Gletscher oder Gletschergebiete von selbst,

und wir müssen uns an der Hervorhebung einiger Ergebnisse von allgemeinerer Bedeutung genügen lassen. Eine exakte Bestimmung des Zeitpunktes, zu welchem ein gegebener Gletscher die relative Maximal- oder Minimalausdehnung erreicht hat, ist sehr schwierig, wo nicht ganz unthunlich, denn, wie Sieger [364] erinnert, schieben sich öfter zwischen die länger anhaltenden Perioden entschiedener Progressiv- oder Regressivbewegung kürzere Fristen einer alternierenden Bewegung („oscillations passagères") ein, durch welche der Gesamtbewegungszustand beeinflusst, die Klarheit des Ueberblickes beeinträchtigt wird.

Wir beziehen uns hier wesentlich auf das Normaljahr 1897, dem wir diese Bezeichnung deshalb beilegen, weil es das letzte ist, für welches eine vollständige Uebersicht erreicht werden kann. Nach Forel [365] sind von 56 der Schweiz angehörigen Alpengletschern 39 im Rückgang, 12 im Anwachsen begriffen, während fünf als stationär zu gelten haben. Abnahme herrscht somit bei weitem vor. — Da, wo West- und Ostalpen aneinandergrenzen, im Bereiche des Adamello- und Ortlerstockes, fand Finsterwalder [366] im Jahre 1895 eine ausgesprochene Tendenz nach vorwärts, indem eigentlich nur der Langenferner ganz entschieden zurückging; dieser Rückzug war auch 1898 noch nicht zum Stillstande gekommen, und im Mittel entfiel auf ein Jahr der Betrag von 7,65 m [367]. Auch in den Hohen Tauern war um 1897 die Abnahme der durchgängig wiederkehrende Zustand [368], während weiter westlich der Bewegungssinn zumeist der entgegengesetzte war. Mit am kräftigsten prägte sich nach Penck [369] diese Neigung am Hohen Sonnblick aus, wo eine seit 46 Jahren andauernde Abschmelzung in den letzten Jahren noch sehr an Energie zugenommen hat. Besonders belehrend sind auch in dieser Hinsicht die (S. 740) konsequent durchgeführten Messungen der Pasterze, die man Seeland verdankt. — Die italienischen Gletscher [370] standen unter der Obsorge G. Marinellis, und derselbe konstatiert durchweg ein allerdings nicht gerade entschiedenes Schwinden in den letzten Jahren. — Für Norwegen ist ein Gleiches durch Oeyens fleissige Forschung sichergestellt [371]. — Während also in Europa das Verhalten ein ziemlich übereinstimmendes genannt werden darf, hat Prinz Bonaparte [372] seit 1890 in den französischen Alpen ein immerhin nur schüchternes Vorrücken wahrgenommen. — Im asiatischen Russland haben Fedjenko und Lipsski einen entschiedenen Rückgang ausser Zweifel gesetzt [373]; im Kaukasus hat der analoge Prozess in den sechziger Jahren seinen Anfang genommen, ohne bisher zum Aufhören gelangt zu sein. Das erhellt auch aus den Angaben Dinnings [374], und das von Rossikow gemeldete häufigere Austrocknen von Gebirgsseen [375] lässt sich damit ursächlich sehr wohl vereinigen. Muschketow berichtet, dass Jahresrückgänge bis zu 38 m vorgekommen sind [376]. — Ungleich stabiler sind gewiss die polaren und subpolaren Gletscher; wenn auch um die Mitte des XIX. Jahrhunderts bei mehreren von ihnen eine Epoche der Eisminderung eintrat, so war dieselbe, Rabots Ermittelungen zufolge, doch eine unverhältnismässig schwächer ausgesprochene, als im europäischen Hochgebirge, und anderwärts war sogar der Vorstoss ein ununterbrochener [377]. — Für Europa verzeichnet Richter [378] ein Vorrücken um 1820 und eine Periode des Vordringens zwischen 1840 und 1850, welch letztere, wenigstens in einzelnen Fällen [379], die kräftigere gewesen sein dürfte.

Begreift man auch die älteren Nachrichten mit ein, soweit denselben einige geschichtliche Beglaubigung zur Seite steht, so kommt man mit Forel (s. o.) und Heim [380] zu dem Schlusse; Wenigstens für die Alpen ist die Tendenz der Gletscher, ihr Volumen im gleichen Sinne zu verändern, eine unverkennbare. Nur darf natürlich nicht erwartet werden, dass der Umschwung allenthalben gleichzeitig auftrete; einige Jahre Differenz werden, wenn man Gletscher verschiedener Regionen daraufhin prüft, regelmässig zugestanden werden müssen. Steile und kleine Gletscher werden sich beweglicher wie flachgeböschte, grosse zeigen. Von den Gletschern der Polarzone Abstand nehmend, für welche ja auch die Verhältnisse ganz eigenartig gelagert sind, können wir die momentane Sachlage etwa dahin zusammenfassen:

Die Gletscherschwankungen, welche selbstredend nicht nur die Längendimension, sondern die gesamte Eismasse betreffen, stellen sich als eine generell tellurische Erscheinung dar. Die grosse Mehrzahl der Gletscher zieht sich zur Zeit noch zurück, aber die Epoche der Bewegungsumkehr liegt

nicht mehr ferne, und an einzelnen Stellen (Ortlergebiet) wird bereits der Vergrösserung präludiert. Wenn dem aber so ist, so liegt es nahe, an eine gleichfalls generelle Ursache der Schwankungen zu denken, wiewohl im Einzelfalle örtliche Einflüsse sich stark verwischend geltend machen mögen.

Wenn wir vorläufig bloss die thatsächlichen Erscheinungen ins Auge fassen, so können wir mit De Marchi [381] von einer Schwellungs- oder Intumeszenzwelle sprechen, welche den Gletscher seiner Länge nach durchläuft, und je nach dem Verhältnis, in welchem die Fortpflanzungsgeschwindigkeit dieser Welle zur Geschwindigkeit der Gletscherbewegung steht, werden sich verschiedene Normen für Wachstum und Einbusse der Eismasse herausstellen. Der Intumeszenzwelle komme die Geschwindigkeit u und die Höhe h zu; ist dann p der Ueberschuss des neu zugehenden Hochschnees über den abschmelzenden im Firnboden (S. 717), S die Oberfläche des Sammelbeckens, b die Breite der Firnlinie, und werden resp. den Brüchen h : p und S : b die Bezeichnungen Empfindlichkeit ($= \varepsilon$) und Eilfertigkeit ($= \varepsilon'$) des Gletschers beigelegt, während t die Dauer einer Niederschlagsperiode vorstellt, so besteht nach De Marchi die Gleichung: $u = \frac{\pi}{t} \cdot \frac{1}{\varepsilon} \cdot \varepsilon'$. Der Gletscher habe die Länge l, und die erwähnte Welle brauche die Zeit τ, um von oben nach unten die Strecke l zu durchlaufen, dann ist

$$\tau = \frac{l}{u} = \frac{t\,l}{\pi} \cdot \varepsilon \cdot \frac{1}{\varepsilon'}.$$

Die von der Schwellungswelle zum Durchmessen des Gletschers beanspruchte Zeit ist proportional seiner Empfindlichkeit und umgekehrt proportional seiner Eilfertigkeit. Man darf, wie Forel [382] zutreffend betont, von einer solchen Formel nicht zu viel erwarten; ist doch der ausschlaggebende Faktor ε unserer Bestimmung völlig entzogen. Aber das sagt die Relation eben doch unzweideutig aus, dass meteorologische Perioden es sind, von denen Bildung und Grösse der Schwellungswellen abhängt, und damit sind wir der Lösung unserer Hauptfrage doch immerhin schon näher gekommen.

Fritz glaubte aus seiner Statistik der Sonnenfleckenfrequenz folgern zu dürfen [383], dass fleckenreiche Jahre auch zugleich Jahre des Gletscherwachstums seien, und es darf (vgl. S. 173) diese Folgerung auch keineswegs ganz unbeachtet gelassen werden. Indessen kommt hier nur die Temperatur zu ihrem Rechte, während die noch wichtigeren Niederschläge wenigstens nicht direkt vom Bedeckungszustande der Sonne abhängen können. Dieses letztere Moment ist zuerst durch E. Richter [384] nach seiner ganzen Bedeutung gewürdigt worden. Nachdem dann noch C. Lang [385] durch Parallelbeobachtungen nördlich und südlich der Alpen die entsprechenden klimatologischen Beweismittel herbeigeschafft hatte, liess sich eine wirkliche Einsicht in die Vorgänge gewinnen, und zwar sehen wir den Zusammenhang, wie ihn De Marchis (s. o.) aprioristische Theorie fordert, sich folgendermassen gestalten (vgl. die analoge Darstellung S. 326): Perioden von warmen und trockenen Jahren haben ein Anwachsen, Perioden von kühlen und feuchten Jahren haben ein Schwinden der Hochgebirgsgletscher zur — nicht unmittelbaren, sondern — je nachdem, mit grösserer oder geringerer Verzögerung eintretenden Folge. In den progressiven Perioden ist die fliessende Bewegung des Eisstromes eine weit energischere, als in den regressiven [386], und damit steht wohl auch Richters Wahrnehmung in Verbindung, dass mehrenteils die erstgenannten Perioden kürzer als die letzteren sind. Stärkere Firnansammlungen in schneereichen Wintern bewirken einen kaskadenartigen Abfluss des Eises nach dem Prinzipe des hydraulischen Widders [387] (s. u. in Kap. IV). Durch seine Untersuchungen in den Eismeeren des Oetzthales ist v. Frey [388] zu einer übereinstimmenden Anschauung gelangt; er schreibt der am Boden stattfindenden Friktion eine einflussreiche Rolle zu und hält dafür [389], „dass die Reibung eine gleichförmige Bewegung in einen rhythmischen Wechsel von Beschleunigung und Verzögerung aufzulösen“ vermöge.

Welches ist nun aber die letzte Ursache dafür, dass, wie wir erkannten, Jahresreihen von ganz verschiedenem meteorologischem Gepräge sich folgeweise ablösen? Es liegt sicherlich nicht ferne, an Brückners (S. 330) Konstatierung einer fünfunddreissigjährigen Klimaschwankung zu denken. Jener Geograph hat zwar den Gletschern als Indikatoren solcher Veränderungen nur einen sekundären Wert beigelegt, aber Richter ist diesen Beziehungen eifrig nachgegangen [390], und obwohl er zu bemerken meinte, dass eine Periode von 70 Jahren sich noch deutlicher als eine solche von bloss 35 Jahren abspiegle, so machte ihn dieser Umstand natürlich doch nicht irre in der ursächlichen Verknüpfung beider Erscheinungskomplexe.

Die Gletscherschwankungen decken sich, so beschliesst Richter [391] seine Studie, der zeitlichen Amplitude nach mit Brückners Periode klimatischer Schwankungen, und zwar pflegt sich der Vorstoss noch während des kühlfeuchten Zeitraumes wahrnehmbar zu machen. Im Mittel der letzten drei Jahrhunderte tritt eine Periode von 35 Jahren deutlich zu Tage. Die sogenannte Eiszeit aber (S. 333) war nichts als eine Summierung von Zeiten ungewöhnlich starker Gletscherentwickelung, und ebenso entstanden die Interglazialzeiten, für deren Vorhandensein Kap. V die Belege bringen wird, durch die Summierung von Zeiträumen trockenen und warmen Charakters. Qualitativ sind somit die Vereisungsperioden von den Perioden des Gletschervorstosses nicht verschieden, vielmehr liegt der Unterschied lediglich darin, dass eine lange währende, eine Periode höherer Ordnung naturgemäss ein unverhältnismässig intensiveres Eiswachstum begünstigen musste.

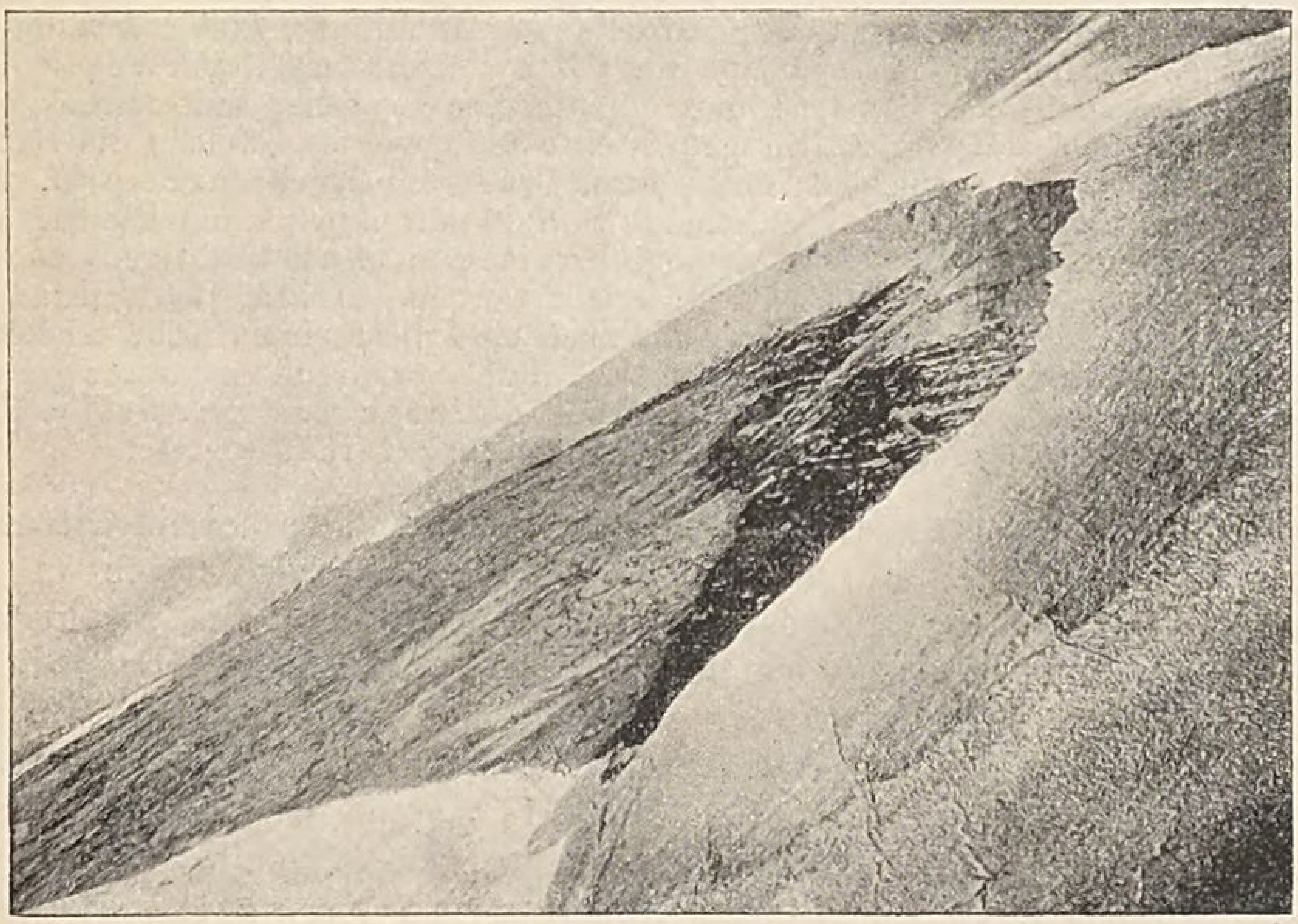
Die geschichtlichen Nachforschungen müssen sich, wenn es an geschriebenen oder gedruckten Urkunden gebricht, vielfach auch mit indirekten Kriterien zufrieden geben. In diese Kategorie gehören vorzugsweise ältere Nachrichten über Passvergletscherungen, aber gerade ihnen muss mit besonderer Vorsicht gegenübergetreten werden. Richter [392] prüft einschlägige Erzählungen über den Grindelwaldpass (aus dem Berner Oberland ins Wallis), die Pässe des Monte Moro, Col de Fenêtre, Col d'Herens, Col de Collon und Col du Géant (aus dem Wallis nach Savoyen) und spricht denselben jedwede zwingende Beweiskraft ab, worin er unseres Erachtens recht hat. Weitaus am meisten ist über die Verbindung zwischen Grindelwald und Viesch geschrieben worden, und ein lesenswerter Aufsatz [393] von Waeber sammelt alles, was über die Sache zu sagen ist. Während Kasthofer [394] die Ueberlieferung für begründet erachtete, äusserte sich B. Studer [395] anfänglich nur skeptisch über dieselbe, änderte aber nachmals seine Meinung und trat ebenfalls dafür ein [396], dass der im früheren Mittelalter aperte und belebte Verkehrspfad erst später der Vereisung verfallen sei. Waebers sorgfältige Kritik bestätigt vollinhaltlich Richters (s. o.) Behauptung, dass der erwähnte Passweg nie zu den völlig eisfreien Gebirgssteigen gehört habe.

§. 13. **Gletscherkatastrophen.** Jede Gletscherwanderung hat Gefahren zu überwinden, und wer unter kundiger Führung eine derartige Tour antritt, sucht denselben auszuweichen. Die bedenklichen Spalten lassen sich stets entweder umgehen oder mit Vorsicht überschreiten. Dagegen kann man sich weniger leicht schützen gegen Steinschlag, Gletscherlawinen und Wasserausbrüche, Ereignisse, die zwar nicht zu den alltäglichen zählen, immerhin jedoch schon schwere Schäden zur Folge gehabt haben. Ihre physikalischen Bedingungen sollen im folgenden der Erörterung unterstellt werden.

a) Steinschlag. Es ist bekannt genug, dass beim Ersteigen scharf geböschter Gletscher der Bergsteiger sich vor den herabsausenden Steintrümmern zu hüten

hat. An und für sich ist Steinfall keine den Gletschern eigentümliche Erscheinung, sondern schlechtweg ein Denudationsphänomen (S. 602); die verwitternden Felsen zerbröckeln, und die abgelösten Brocken stürzen nieder. Manche Berge sind durch Steinfall geradezu berüchtigt. Allein dann, wenn Steine ins Eis eingebacken sind, bedingt die steigende Erwärmung nicht selten einen förmlichen Steinhagel. Als Purtscheller mit den Gebrüdern Zsigmondy den Monterosa bestieg, musste die Gesellschaft einen vollen Tag unthätig an geschütztem Orte verweilen und die Nacht abwarten, während welcher die losen Blöcke wieder festfroren [397]. Die zentnerschweren Steine machten Sätze von $^1/_4$ km Sprungweite und fanden sich mehrmals in förmlichen Steinlawinen zusammen, durch welche die Gletscherbäche aus ihrem Bette gedrängt wurden. Tyndall bemerkt [398], dass man im Schnee öfters die Streifen und Furchen verfolgen könne; auf sanfter geneigter Fläche rutschen die Felsstücke zu-

Fig. 153.



erst ab, bis sie an eine unstetige Gefällsstelle kommen und nun ihre Parabeln zu beschreiben beginnen.

b) Gletscherlawinen. Wenn ein Gletscherstück abbricht und zu Thal stürzt, so bilden sich Eislawinen. Vom „Kalben" der Gletscher wurde bereits (S. 533) gesprochen, und es kommt dergleichen nicht nur in Skandinavien, sondern auch in den Alpen vor. Das Dorf Randa (im Thale von Zermatt) ist wiederholt durch Gletscherlawinen verwüstet worden [399], die dann freilich auch die Visp aufstauten und so noch schwerere Verheerungen zuwege brachten. In diesen Fällen ist also der Prozess ein einfacher, leicht übersehbarer; äusserlich sehr ähnlich, dagegen auf ein ganz anders beschaffenes Motiv zurückzuführen ist die Katastrophe von der Altels, welche sich am 11. September 1895 zutrug. Wir folgen in der Angabe dieser ursächlichen Verschiedenheit Heim [400), der zusammen mit Du Pasquier und Forel von der Gletscherkommission der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft zur Begutachtung des schrecklichen Unfalles entsendet worden war. Die Darstellungen von Du Pasquier [401], Brückner [402] und Früh [403] stützen sich wesentlich auf Heims Gutachten. Die den Gemmipass überragende Altels, 3634 m hoch, trägt an ihrer triangulären Spitze Firn, von dem ein kleiner Hängegletscher (S. 725) ausgeht. Die Sturzbahn war somit volle 3 km lang, und da die Neigung rund 30° beträgt, so nahm der Sturz selbst nur etwa 1^m in Anspruch. Die abgerutschte Eismasse tötete 6 Men-

schen und 169 grössere Tiere; ein Lawinenkegel (S. 723) bildete sich nicht, sondern die gigantische Eismasse zerstob durch die Gewalt des Auftreffens auf den Thalboden in alle Winde, so dass es weitum feinen Eisstaub regnete. Waren doch nach beiläufigem Ueberschlage $4^1/_2$ Millionen Kubikmeter niedergebrochen! Während für gewöhnlich ein Abbrechen des dem Zuge der Schwere unterworfenen Gletschers in Mitte liegt, hat es sich diesmal um ein Abreissen gehandelt, wie dies ein Blick auf die von Du Pasquier aufgenommene Zeichnung (Fig. 153) darthut. Zweifellos leiteten dumpfe Krache die Trennung ein, allein dieselben wurden in der menschenleeren Gegend kaum vernommen; mit einem Schlage erfolgte dann die Loslösung. „Langsam öffnet sich die Kluft, der Gletscher fängt dann als Ganzes an zu gleiten; nach einigen Sekunden wird die Bewegung rascher, das abgetrennte Gletscherstück bricht in sich zusammen, wird zum groben Séracsblockwerk“ — vgl. S. 742 —, „dann zum Trümmerhaufen, und fährt nun in rasender Eile stromartig über die steilen Felsplatten hinab“ [404]. Die von der Untersuchungskommission vorgefundenen Sturzresiduen erinnerten an den Eisstoss eines Flusses [405] (s. u. in Kap. IV); die Spritzzone [406] dagegen, in deren Bereich Trümmer am gegenüberliegenden Bergabhange hoch hinaufgetrieben waren, hatte vieles gemein mit den bei Bergstürzen beobachteten Ausläufern. Steine und sonstige Fremdkörper fanden sich nur sparsam vor. Den letzten Teil ihres Weges, über den steilen Felskopf von Tatelen, muss die Lawine in freier Luft zurückgelegt haben, und die dadurch förmlich gequetschte Luft war es, welche die Bäume, einer Chausséewalze vergleichbar, durch ihren Druck reihenweise niederwarf. Man konnte beobachten, wie der Windschlag (S. 723) der Lawine unmittelbar dem Boden entlang zog [407]. Ganz analoge Lawinenstürze sind übrigens an der Altels schon zum öfteren (zumal 1782) erlebt worden. Letzter Beweggrund der Gletscherzerreissung war allem Vermuten nach eine nicht einmal sehr erhebliche Temperatursteigerung im Gesteine des Altelsgipfels während mehrerer vorausgegangener wärmerer Sommer [408], indem dadurch ein partielles Losfrieren des Eiskörpers vom Untergrunde eingeleitet wurde.

Nur allzu häufig liest man in den Zeitungen, es sei ein Gletscher geborsten, und die ihm entströmenden Wassermassen hätten in den benachbarten Thälern furchtbares Unheil angerichtet. Bis vor kurzem erblickte man in solchen Vorkommnissen etwas durchaus Einheitliches und Gleichartiges: Hinter der vorrückenden Gletscherzunge waren fliessende Gewässer aufgestaut worden, und diese hatten sich endlich durch den Eisriegel hindurch ihren Weg gebahnt. Erst in neuester Zeit wurde auf eine zweite Möglichkeit von Gletscherausbrüchen hingewiesen: Es sollte sich im Inneren des Gletschers, von diesem rings umschlossen, Wasser angesammelt und die trennende Wand durchbrochen haben. Es wollen demgemäss diese beiden Modalitäten auch gesondert abgehandelt sein.

cα) Ausfluss des Stauwassers. Es gibt nur wenige in die eigentliche Gletscherregion hinaufziehende Alpenthäler, denen solche Gefahren ganz unbekannt wären. Heim zählt [409] eine ganze Reihe solcher Ausbrüche auf, auch aus fernen Hochgebirgen; „durchaus analog sind die Stauungen des Terek im Kaukasus durch den periodisch wachsenden Deodorakigletscher und die Verheerungen, welche im Astorathal (Kaschmir-Himálaya) durch einen vom Tarchinggletscher im Hauptthale gestauten See entstanden sind“ [410]. Der Combal-See und der Rutor-See bedrohen stets das Thal von Aosta. Sehr bekannt sind die unregelmässigen Entleerungen des Märjelen-Sees im Oberwallis, die aber in der Regel wenig Schaden thun. Hierüber gewährt Gossets Seestudie [411] genaueren Aufschluss. Immerhin ist nach der Schilderung eines Augenzeugen [412] der „Rollibock“, wie der Walliser den Durchbruch nennt, der sich sogar im nämlichen Jahre mehrfach wiederholen kann, eine aufregende und sogar Schrecken erregende Szene. Weitaus am bekanntesten, und zwar in recht unerfreulicher Weise, sind nach dieser Seite hin, das Oetzthal und das Martellthal, welches sich vom Vintschgau südlich bis in die Ortlergruppe erstreckt. Die Schicksale des ersteren hat E. Richter [413] nach Archivalien bearbeitet. Der Vernagtferner (S. 738) brach 1600

und 1601 durch, und 1676—81 schwebte das Oetzthal in dauernder Gefahr, zur Schuttwüste umgewandelt zu werden, bis endlich der Eisdamm sich so erniedrigt hatte, dass der Ausfluss ruhiger und gleichmässiger vor sich ging [414]. Aehnlich machte der Gurgler Eissee von 1716—24 den Thalbewohnern viel zu schaffen [415]. Eine tabellarische Darstellung der einzelnen Phasen in der Entstehungs- und Ausflussgeschichte des Sees hinter dem Vernagtferner hat man von Finsterwalder [416], und aus ihr erhellt [417], dass jener Gletscher die gewöhnlichen Schwankungen, vielleicht sogar in bescheidenerem Ausmasse, mitmacht, zugleich aber „die Mittel zu einem grösseren Vorstosse“ ansammelt. Der Gletscherstausee des obersten Martellthales war neuerdings besonders unruhig [418]; er entleerte sich am 17. Juni 1888, am 5. Juni 1889, endlich am 17. Juni 1891. Stets hatte sich das Wasser neue Wege durch die Eismasse hindurch gebahnt, so dass die früher gebrochenen Thore späterhin nicht mehr geöffnet wurden. Finsterwalder, der mit E. Richter den Ort des Unfalles besuchte, stellte durch Kartierung und photographische Abbildung die näheren Umstände der Katastrophe von 1889 [419] fest; der gewaltige hydrostatische Seitendruck, den das aufgespeicherte Wasser ausübt, und dem nach Finsterwalders Rechnung [420] eine primäre Ausflussgeschwindigkeit von 37 m in der Sekunde entsprechen musste, bewirkte die Ausfurchung eines Tunnels zwischen Eis und Schuttboden, und durch diesen floss das Wasser ab. Die Ausflussöffnung ist auf dem Photogramme sofort zu erkennen. Es mag hier an die bekannte bayerische Volkssage erinnert werden, dass der Walchen-See dereinst einmal den Kesselberg durchbrechen und die Münchener Ebene überschwemmen werde; ein Damoklesschwert, gegen dessen Herabfallen sogar kirchliche Feiern in der bayerischen Hauptstadt abgehalten wurden [421]. In der That würde sich auch ein solches Ereignis, falls es möglich wäre, als schauerliche Potenzierung eines Gletscherdurchbruches darstellen. — Nach Hilfsmitteln und Abwehrmassregeln hat man von jeher gesucht. In naiver Zeit hoffte man die sperrende Eiswand durchbohren zu können — der bekannte Bohrer der Rofenerhöfe — oder durch Kanonenkugeln eine Oeffnung zu erzielen [422]; später wurde man immer nüchterner und bescheidener in den Ansprüchen auf menschliche Kunst; auch Venetz' grosses Werk, die aufgestaute Dranse durch einen Kanal im (savoyischen) Gietrozgletscher zum Leman abzuleiten, hatte nur so lange Erfolg, als es gelang, denselben durch hinzugeleitetes, relativ warmes Wasser offen zu halten [423]. Die kräftige Erosionswirkung des fliessenden — nicht einmal besonders warmen — Wassers ersieht man wohl aus nichts deutlicher, als aus den von H. Meyer (S. 717) bei seiner dritten Kilimandjârobesteigung aufgenommenen Photogrammen; der sogenannte Drygalskigletscher des Kibo erwies sich solchergestalt durch tiefe Rinnen zerklüftet, dass sich jedermann an die Penitentesfelder der Anden (S. 728) gemahnt sieht. E. Richter hält [424] wenig auf Abzugskanäle und Klausenbauten, verspricht sich vielmehr das Beste von gehöriger Vertiefung des Bachbettes, damit dasselbe den Schwall der Hochflutwelle aufzunehmen und gefahrlos thalabwärts fortzuleiten vermöge. Auch sei auf telegraphische Hochwasserprognose (Kap. IV) für die Uferbewohner Bedacht zu nehmen.

cβ) **Wasseransammlungen im Gletscherinneren.** Anlässlich der vorbesprochenen Zerstörungen des vom Zufallgletscher ins Martellthal abströmenden Staubaches war in Tirol die Ansicht hervorgetreten, man habe es hier eigentlich mit dem Bersten des Gletschers infolge von Wasserstuben oder Gletscherstuben zu thun, die das Eis aufgedrückt hätten. Es fiel in diesem Falle Richter [425] nicht schwer, durch einfachen Hinweis auf den im Bilde festgehaltenen Augenschein diese Hypothese zu entkräften, welcher sich auch theoretische Bedenken entgegenstellten. Es ist jedoch nicht zu leugnen, dass der entsetzliche Untergang, den im Juli 1892 das savoyische Badeörtchen St. Gervais durch eine den Gletschern des Montblanc entstammende Wasserflut fand, der Diskussion neuen Stoff gegeben und auch eine gewisse Wandelung der Anschauungen bewirkt hat. Zuerst dachte freilich selbst Forel nur an eine Gletscherlawine, wie sie bald nachher (s. o.) von der Altels niederging, und wie sie gerade in diesem Thale, welches auf die Unglücksjahre 1560, 1635, 1636, 1835 und 1887 zurückzublicken hatte, eben nicht zu verwundern gewesen wäre [426]. Als aber die von der Ausbruchstelle aufgenommenen Lichtbilder ein tieferes Studium des Herganges ermöglichten, welche man Duparc, Vallot und Delebecque verdankt [427], konnte jene nächstliegende Auffassung der Grundursache nicht mehr unbedingt aufrecht erhalten werden. Zwar war Richter zuerst noch der Ansicht [428], dass wesentlich nur eine Bachaufstauung vorgelegen habe, wie sie ihm vom Eiszirkus des

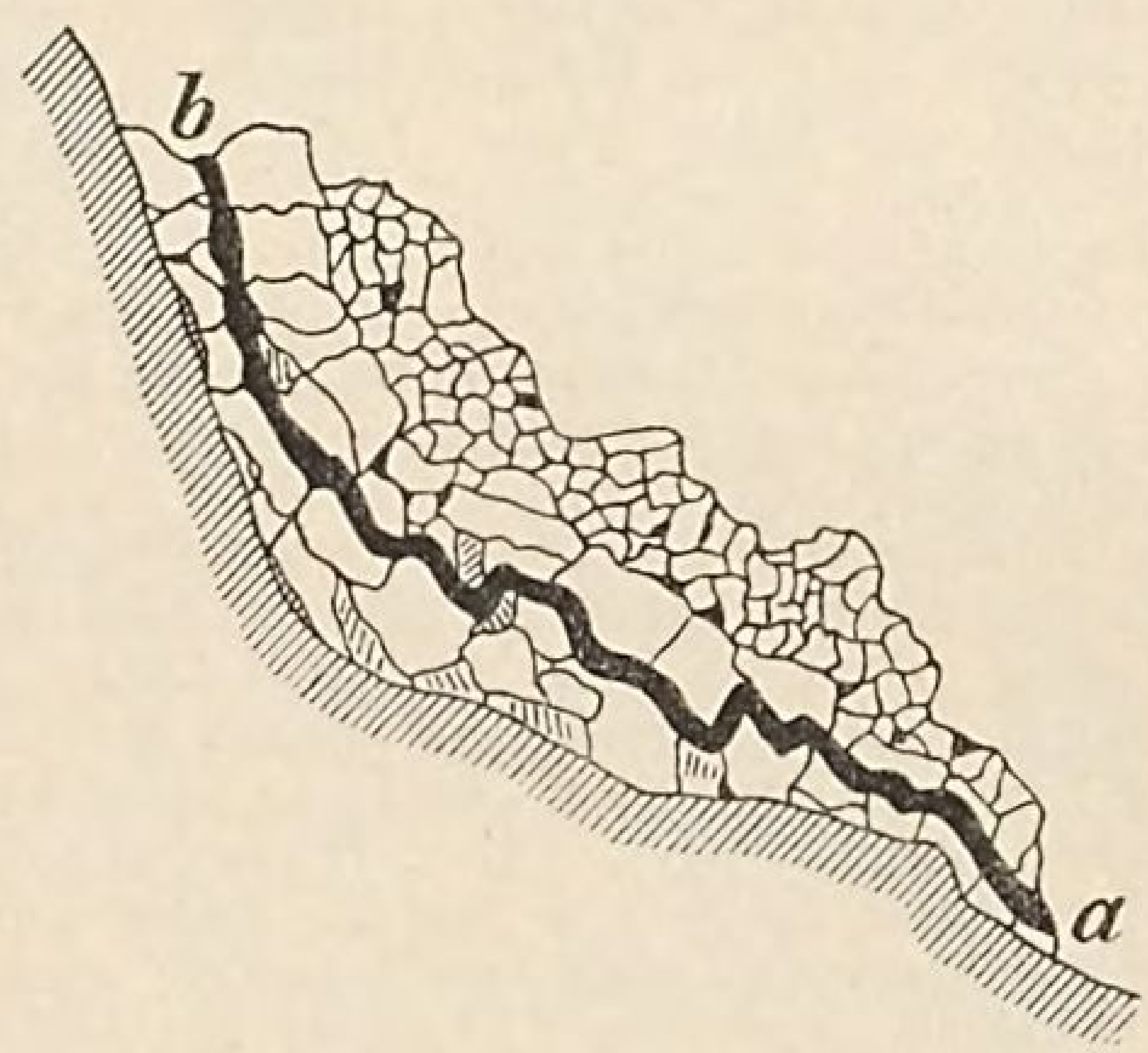
Ueberfallferners her erinnerlich war [429], allein nachgerade schien ihm doch selbst die ungewöhnliche Erscheinung auch eine andere Art der Erklärung zu erheischen, und als eine gewisse Konzession kann man immerhin die Interpretation der Lehre von den Gletscherstuben betrachten, die er auf Grund der Abbildungen von Duparc und Durier [430] gibt [431]. Wasseransammlungen im Gletscher, die sich schliesslich einen seitlichen Ausgang verschaffen können, sind wohl denkbar, aber sie sind stets nach oben offen und nicht im eigentlichen Sinne subglazial. Diese Theorie, die auch von Finsterwalder [432], sowie nicht minder von Toula [433] und von Greim [434] in der Hauptsache gebilligt wird, steht also derjenigen der drei Genfer Forscher, welche Gletscherstuben ohne vorherige Kommunikation mit der Aussenwelt annehmen, zur Zeit gegenüber. Uns scheint diejenige Richters wesentlich eben deshalb vorzuziehen zu sein, weil sie den ursprünglichen Begriff des Stauseedurchbruches angemessen erweitert und mit den lehrreichen Erfahrungen der Unglücksgeschichte von St. Gervais in Einklang gesetzt hat.

§. 14. **Erhaltung des Eises in geschützter Tiefenlage; Eishöhlen.** Bevor wir uns den besonderen Formationen zuwenden, in welchen das perennierende Eis unter dem Schutze des kalten Polarklimas sich ansammelt, werfen wir noch einen Blick auf solche dauernde Eisansammlungen, welche sich da und dort in Gegenden finden, die an sich tief unter der Schneegrenze liegen. Hier muss also die Oertlichkeit eine solche sein, dass das einmal in kalter Jahreszeit daselbst gebildete Eis künftighin der Sommerwärme zu trotzen und sogar zu wachsen im stande ist. Diese natürlichen Eiskeller, wie wir sie wohl nennen können, stimmen in ihren Aeusserlichkeiten keineswegs überein; indem wir uns an die in B. Schwalbes Veröffentlichungen [435] durchgeführte, bequeme Klassifikation anlehnen, unterscheiden wir prinzipiell drei Erscheinungsformen: Ventarolen, Eislöcher und Eishöhlen.

Wenig nur fallen die beiden ersten Klassen unter dem wissenschaftlichen Gesichtspunkte ins Gewicht. Windlöcher (Ventarolen von ventus, Wind; Windröhren) sind Oeffnungen im Gesteine, aus denen ein kühler Luftzug nach aussen geht; sie scheinen, wenigstens in vielen Fällen, Mundlöcher echter Eishöhlen zu sein, während in anderen eine einfache Ventilationserscheinung sich kundgibt. Mit einiger Bestimmtheit hat derselben wahrscheinlich zuerst J. J. Scheuchzer Erwähnung gethan [436], der ihnen auch ihren richtigen Platz im Systeme der alpinen Physik anwies [437]. Nähere Nachrichten über solche Vorkommnisse, denen er auch den Namen Aeolushöhlen beilegt, suchte Muncke in seinem Lexikonartikel „Höhle“ zusammenzubringen [438]. Die Verdunstungstheorie, welche Parrot [439] für diejenigen Windröhren aufstellte, die nicht die Ausgangsstollen von Eisröhren sind, trifft eher für die Eisgerölle als für die wirklichen Ventarolen zu. Wenn wir mit Fugger [440] eine Windröhre als gewundenen, eine Schutthalde durchsetzenden Gang auffassen, deren untere Oeffnung a (Fig. 154) sich in der Tiefe der konstanten Bodentemperatur (I, S. 329) befindet, deren Mundloch b aber nach oben geht, so ist leicht folgendes einzusehen: Im Winter, wenn die eingeschlossene Luft wärmer als die äussere Atmosphäre ist, strömt bei a warme Luft aus, bei b kalte Luft ein, und im Sommer, wenn die Luft im Kanale wärmer als die umgebende ist, sinkt von oben her kalte Luft ein, welche sich beim Passieren der Röhre noch mehr abkühlt und als frostiger Luftstrom aus a entweicht. Verdunstung an den feuchten Rohrwänden mag natürlich unterstützend wirken. „Wenn die äussere Lufttemperatur der Temperatur des Bodens gleich ist, also vorzüglich zur Zeit der Aequinoktien, muss im Kanale Gleichgewicht oder Ruhe herrschen“ [441]. Beobachtungen, durch welche das Nachlassen des Luftzuges im Frühling und Herbst festgestellt wird, dienen folglich dazu, Windröhren im engeren Sinne, wie wir sagen möchten, von verborgenen Eishöhlen zu unterscheiden. Ueber den Zusammenhang ersterer mit ungewöhnlich niedriger Bodentemperatur, wie sie z. B. Church und Stapff nicht ferne von den heissen Schichten des Comstock-Schachtes (I, S. 336) nachgewiesen haben [442], hat Schwalbe [443] ausführlicher gehandelt.

Wenn aus einer Anhäufung von Trümmergestein nicht bloss ein kalter Hauch weht, sondern wenn zwischen dem Gesteinsschutte Schnee und Eis auch in der warmen Jahreszeit noch sichtbar wird, so ist die Bezeichnung Eisloch — Eisleite, Eisgerölle Schneegrube (?) — am Platze. Der amerikanische Ausdruck Eisbett (Ice-Bed) sagt dasselbe; in Vermont, Maine, Connecticut, Virginien findet man die Schutthalden, auf welche sich jener Ausdruck bezieht [444]. Fugger tritt dafür ein, Eisleiten und Windröhren grundsätzlich zu identifizieren. Gerade aber auf Grund autoptischer Beschäftigung mit den bekannten Eislöchern von Ueberetsch (südwestlich von Bozen), deren auch Schwalbe, auf Grund von Gallenkamps Mitteilungen, erwähnt [445], erscheint es uns notwendig, die Verdunstungskälte, deren Mitwirkung ja (s. o.) auch Fugger zugibt, dann für einen entscheidenden Faktor zu halten, wenn es zur wirklichen Eisbildung kommt. Unter den 29 von unserem Gewährsmanne [446] verzeichneten Vorkommnissen dürfte die Frainer Eisleite (Mähren) ein Musterbeispiel abgeben, mit der sich Jarz [447] und A. Roth [448] schriftstellerisch beschäftigt haben. In stark zerklüftetem Gesteine, wie es sich im mährischen Devonkalkgebirge so oft vorfindet, ist zum Einsickern und raschen Verdunsten des Regenwassers die ausgiebigste Gelegenheit gegeben. Schneegruben oder Schneetrichter, welche

Fig. 154.



dem vielfach verkarsteten Untersbergplateau zu einigem Wasser verhelfen, sind wenigstens dort wesentlich nur Schneereservoire [449], welche sich im Winter füllen und ihren Vorrat nur langsam schwinden lassen.

Als eine Erscheinung für sich wollen die echten Eishöhlen betrachtet sein, für welche neben der uns bekannten Statistik Schwalbes (s. o.) noch diejenige Fuggers [450] vorliegt, welche die erstere in einzelnen Punkten noch zu ergänzen und zu berichtigen in der Lage war. Danach waren bis zum Jahre 1891 nicht weniger denn 117 Höhlen (vgl. S. 703) bekannt, deren Wände von nie schmelzendem Eise überkleidet sind [451]. Wir werden zuvörderst die geographische Verbreitung ins Auge fassen, alsdann die allenfalls nachweisbaren Besonderheiten des Höhleneises studieren und endlich nach einer Erklärung dieser Konstanz des festen Wassers in geschüzten Räumen suchen. Neben den grossenteils schon genannten Arbeiten Schwalbes kommen auch noch vorzugsweise mehrere Schriften von Fugger [452] und eine durch reichhaltigste Beobachtungsdaten sich auszeichnende Untersuchung von Cramer [453] in Frage. Auch Kraus hat diese Spezialität in seinem Kompendium [454] einer neuen Disziplin, der Höhlenkunde, nicht unberücksichtigt gelassen.

Von den 52 Eishöhlen, welche die Fuggersche Liste (s. o.) für die eigentlichen Alpen namhaft macht, sind vielleicht die so genau erforschten Grotten des Untersberges auch die grossartigsten, und unter ihnen mag wohl wieder die Kolowrathöhle den Preis davontragen. Auch das Tablerloch bei Wiener-Neustadt verdient besonders genannt zu werden, weil hier Cramer (s. o.) seine mehrjährigen Messungen vorgenommen hat. Von den Karsthöhlen ist in dieser Hinsicht vielleicht die interessanteste die Friedrichsteiner Eishöhle im Gottscheer Waldreviere [455]. Die Jurahöhlen, von denen man 10 mit Sicherheit kennt, sind historisch bemerkenswert, denn diejenige von La Baume (auch Grotte de Besançon) ist die erste in einer Druckschrift (1586) erwähnte [456], und zudem bezog sich wesentlich auf sie, aber auch auf ihre Genossinnen, die in der älteren Litteratur eine Vorzugsstellung einnehmende Studie von A. Pictet [457]. Von den Apenninen ist wenig zu sagen; die Eisgrotte des Monte Sorano hat nach Fugger [458] schon Kircher [459] beschrieben gehabt. Dagegen sind die Karpathen sehr reich an solchen Prachtstücken, und ihnen, vorab der reizvollen Dobschauer Höhle, ist eine stattliche Litteratur gewidmet, aus welcher hier nur eine Probe ausgehoben werden kann [460]. Auch die deutschen Mittelgebirge entbehren solcher Merkwürdigkeiten nicht. Fugger macht [461] auf den vereisten Basaltsteinbruch von Roth bei Gerolstein in der Eifel aufmerksam, aber grösseren Eindruck macht gewiss der Eiskeller von Niedermendig (Vordereifel), den zwar Schwalbe [462] nicht als Eishöhle im strengen Wortsinne anzuerkennen scheint, die aber doch schon von Pictet [463] bei seiner den Gegenstand im ganzen betreffenden Forschung mit einbezogen wurde. Noch zu Ende März ist der Boden des Bruches, dem die berühmten „Andernacher" Mühlsteine entstammen, geradezu vergletschert. Das Erzgebirge hat seine Eispingen — „Pinge" ist eine durch Schachteinsturz herzorgerufene Bodensenkung —, und Lohmann [464] hat mehrere derselben beschrieben, deren Eis im Sommer nach Leipzig und Karlsbad versandt wird. Skandinavien und Island haben weniger zu bedeuten, aber vom Ural sind 7 Eishöhlen sichergestellt [465]; die Kungur-Höhle will Kittara [466] im Winter mit freiem, im Sommer aber mit von Eis verstopftem Eingange angetroffen haben. Sechs Eisgrotten sind von Russisch-Asien, drei von Nordamerika bekannt [467]. Südamerika und Australien fallen gänzlich aus, und Afrika partizipiert an der Aufzählung nur mit einem einzigen Exemplare. Schon das Dioskurenpaar Humboldt-Buch (I, S. 24) hat uns mit der Cueva de la nieve (del hielo) am Pik von Tenerife bekannt gemacht [468]. A. v. Humboldt hat das Wesen des Höhleneises ganz richtig erfasst, insofern er auf die Trägheit und den Ventilationsmangel in einer so eingeschlossenen Luftschicht hinweist; auch erinnert er an die von den Römern mit Vorliebe benützten Kühlkeller des Scherbenberges (Monte Testaccio), „dessen Temperatur von der der umgebenden Luft so bedeutend abweicht."

Im Inneren einer Eishöhle tritt uns das Eis an buntester Formenfülle entgegen. Neben dickem Eisbelage der Wände fallen uns Stalaktiten und Stalagmiten (στάλαγμα, Tropfen) von Eis ins Auge, eiszapfenartige, nicht selten phantastisch ausgezackte Gebilde; das erstgenannte Wort bezieht sich auf die von der Decke herabhängenden, das zweite auf die vom Boden her aufstrebenden Zapfen, die sich auch vereinigen und dann mächtige Eispfeiler bilden können. Drei solche Tragsäulen bilden den Hauptschmuck des sogenannten Eissalons der (s. o.) Dobschauer Höhle [469]. So ist die äusserliche Analogie zwischen Eis- und Tropfsteinhöhlen (s. u. in Kap. V) oft eine sehr vollkommene [470]. Zur besonderen Bekräftigung sei der sibirischen Balagan-Höhle [471], die im Sommer von Eiseffloreszenzen strotzt, sowie der vorerwähnten Kungur-Höhle gedacht, welche sich von Eis- und Kalkstalaktiten in mannigfacher Abwechselung erfüllt zeigt. Lohmann führt [472] als typische Eishöhlengebilde neben dem Boden- und Tropfeis noch die von ihm mit diesem Namen belegten Firnhalden und die von Hering [473] unter dem krystallographischen Gesichtspunkte gewürdigten Wandkrystalle auf. Welch sonderbare Formen in manchen Wintern durch den Wechsel von Ablagerung und Abschmelzung entstehen können, weist Fugger [474] am Beispiele der Kolowrathöhle nach. Die Beschaffenheit des Höhleneises ist von Tschudi [475] und Browne [476] studiert worden; ersterer charakterisiert dieselbe als Wabeneis, und gleicherweise lesen wir bei Fugger [477]: „Die Krystalle, welche bienenzellig und senkrecht zur Felswand gruppiert waren, liessen sich zum Teile einzeln und vollständig loslösen; diese alveolare Struktur hängt offenbar mit dem Prozesse des Abschmelzens zusammen und wird am aus-

geprägtesten, wenn nach einer starken Tauung wieder neuestens Frost eintritt.“ Solche Alveolarbildungen (alveolus, Höhlung) hat Schwalbe [478] auch bei Eiskonkretionen im Moose beobachtet. Von Lohmann [479] besitzen wir eine gute Charakteristik dieser Struktur, entworfen nach Photogrammen von Gipsabgüssen. Nach den Untersuchungen von Bertin [480] und Thury [481] hätte man die „verworren-krystallinische“ Zusammensetzung für eine besondere Eigentümlichkeit des Höhleneises ansprechen können, allein mit Rücksicht auf Emdens Feststellungen (S. 730) ist zuzugestehen, dass eine wesentlich gemeinsame Struktur für alle Eismodalitäten, das Höhleneis nicht ausgeschlossen, anzunehmen sei. Petzold [482] und H. Schlagintweit [483] hatten ihre Stimme schon früher in diesem Sinne vernehmen lassen. Lohmann vermutet, dass infolge von Temperaturschwankungen Risse im Eise entstehen, die eine erstmalige Elementarzellenbildung — von R. Pictet auch am Eise der Kältemaschinen mikroskopisch festgestellt — hervorrufen, und hierauf entwickle sich die Wabenanordnung in der von Emden für das Gletschereis ermittelten Art und Weise.

Die theoretische Erörterung, wie sie von Saussure und A. Pictet begonnen worden war [484], knüpfte, wie wir es beim Eisgerölle schon erfahren haben, an die damals noch neue Thatsache an, dass beim Verdunsten einer Flüssigkeit Wärme gebunden, scheinbar also Kälte erzeugt wird. Bald musste man sich überzeugen, dass diese Hypothese den gewaltigen Verhältnissen mancher Eishöhlen gegenüber ganz unzureichend sei, ebenso wie auch die Kaltlufttheorie von Deluc [485], mit welcher grossenteils die auf einen starken sommerlichen Temperaturdefekt basierten Theorien von J. Herschel [486] und Hope [487] übereinkamen. Ein neues Ferment wurde durch Schwalbe (s. o.) in die Diskussion hineingetragen, der von den älteren Versuchen Moussons [488] und Dufours [489], sowie namentlich auch von den Beobachtungen F. Meissners [490] über die sogenannte Wärmetönung Gebrauch machen konnte [491]. Wenn eine tropfbare Flüssigkeit durch feine Ritzen langsam sickert, erleidet sie eine Ueberkältung, so dass also der geringste Anstoss (S. 26) den Gefrierprozess einleiten muss. Nach Meissner blieb ein Gemisch von Wasser und Kieselsäure noch flüssig, als es sich, einen stark porösen Körper durchdringend, bereits bis auf -8^0 abgekühlt hatte. Mit Lohmann [492] möchten wir unserer Meinung dahin Ausdruck geben: Zur Bildung des Deckeneises mag die Wärmetönung des Sickerwassers einigermassen mitwirken, aber zur befriedigenden Erklärung der Gesamtheit der teilweise so grossartigen Eishöhlenphänomene reicht man damit nicht aus.

Einen wesentlichen Fortschritt bedingte die Erkenntnis, dass durchaus nicht, wie zumal die britischen Forscher (s. o.) geglaubt hatten, ein starkes Schwinden des Eises im Winter mit Neubildung im Sommer abwechselt. Massgebend dafür, dass ein unterirdischer, nur durch eine schmale Mundröhre mit der Aussenluft kommunizierender Hohlraum sich zur Eishöhle entwickle, sind generell nach Fugger [493] die folgenden Umstände: Ziemlich niedrige, durch die geographische Lage bedingte mittlere Lufttemperatur der Umgebung; Vorhandensein von Tropfwasser, und zwar in reichlicherer Menge während des Winters; endlich eine Abtiefung des Höhlenbodens vom Eingange gegen das Innere hin, während zugleich das Mundloch gegen die Wirkung warmer Winde und direkter Insolation geschützt ist. Trifft dies alles zu, und fehlt es zugleich an vertikalen Verbindungskanälen, durch welche eine Lufterneuerung erzielt werden könnte, so tritt ein, was der Sachlage nach eintreten muss: Die kalte Winterluft sinkt durch den einen Mundstollen ein, gerät in vollkommene Stagnation und erwärmt sich nicht mehr, auch wenn draussen die Temperatur wieder über Null zu steigen beginnt. In der Klimatologie (S. 281) ward bemerkt, dass mit Luftstauung und Luftstagnation stets starke Abkühlung verbunden ist, und das finden wir hier wiederum bestätigt.

An Fugger knüpft erwähntermassen Cramer (s. o.) an, dessen umfassende Arbeit neben anderem darin eine neue Phase der Forschung begründet, dass sie den Beziehungen der Luftfeuchtigkeit zur Eisbildung mit einer diesem Punkte noch nicht zugewendeten Akribie nachspürt. Am genauesten wurde (s. o.) das Tablerloch geprüft, aber auch verschiedene andere niederösterreichische, sowie steirische und salzburgische Lokalitäten wurden zur Unterstützung herangezogen.

So gelang es, für einzelne Höhlen eine förmliche Individualgeschichte zu schreiben. Zahlreiche Thermometermessungen überzeugten den Autor [494], dass Wärme- und Kälteperioden sich folgen; während der ersteren nimmt die Temperatur vom Eingange nach innen ab, und die Gesamttemperatur der Höhle steigt, indem eine Luftschichtung nach Dichte resp. Temperatur stattfindet. Im Verlaufe einer Kälteperiode vermag die von aussen einströmende Luft nicht den ganzen Raum zu erfüllen, sondern an einem bestimmten Horizonte macht sie Halt, wenn nicht die Dauer der Periode eine sehr lange ist. Uebrigens weist Cramer auch [495] eine nicht ganz unbeträchtliche Temperaturerniedrigung als durch Verdampfung von Eis und Wasser bedingt nach.

Wenn wir zu einer Gesamtvorstellung über das Wesen der Erdhöhlen kommen wollen, so werden wir, wie dies Cramer betont [496], einräumen müssen: Einen prinzipiellen Gegensatz zwischen bloss kalten und mit Eis erfüllten Höhlen gibt es nicht. Es ist stets ein Uebergang zwischen beiden signalisiert durch jene Höhlen, welche — wie das Tablerloch — in manchen Jahren ganz eisfrei sind und dann wieder jahrelang ständige Eiserfüllung aufweisen. Sackform der Höhle mit verborgenem Eingange gibt die beste Gewähr dafür, dass die einmal in jene eingedrungene kalte Luft, von Strömungen möglichst unbeeinflusst, der Höhle den glazialen Charakter verleiht. Für jeden nicht total abgeschlossenen Hohlraum gilt als Regel, dass seine Temperatur in erster Linie durch die Temperatur der diesen Raum längere Zeit durchziehenden Luft bestimmt wird. Die früher als entscheidend angesehenen Faktoren, wie Verdunstungskälte und Ueberkühlung des einträufelnden Wassers, können sich höchstens sekundär bei der Herabsetzung der Temperatur und Beförderung der Eisbildung bethätigen.

§. 15. **Das Steineis.** Die Verschiedenheit dessen, was man in Sibirien als ewiges Bodeneis und dessen, was man neuerdings als Steineis kennt, ist von uns schon früher (I, S. 331) mit aller Bestimmtheit hervorgehoben worden. Der stetig gefrorene Boden Neusibiriens ist zwar vereist, aber darum doch nicht wirkliches Eis geworden und nur in seinen obersten, der Wärme einigermassen zugänglichen und deshalb Quellwasser liefernden Schichten können sich gelegentlich wirkliche Eisbildungen vollziehen, von denen die Entstehung der sogenannten Tarinne abhängt.

Vom Eisboden sagt Heim [497] zutreffend: „Es zementiert Sand und Gerölle zu dauernden, festen Sandstein- und Konglomeratschichten.“ Eindringendes Wasser gefriert unverzüglich, und auch dann, wenn bei einer Lufttemperatur von etwas über 0° das Wasser an und für sich recht wohl den flüssigen Aggregatzustand annehmen könnte, gefriert es auf dem kalten Untergrunde. So überziehen sich ganze Thalmulden, die Quellen besitzen, mit Massen perennierenden, blauen Eises. Solche Eismulden oder Eisthäler, die eben der Russe Tarinne nennt, machen den Eindruck echter Gletscher. Durch v. Wrangell, v. Middendorff, und vor allem v. Ditmar sind uns zuverlässige Nachrichten über diese einzig dastehende Eisformation zugekommen [498]. Manches Eisthal ist 15 km lang und 1 km breit; eine kompakte Eismasse ohne Bewegung. Abgesehen hievon, ist auch die Thätigkeit von Gletschern und Eismulden im Haushalte der Natur die entgegengesetzte. Erstere verwandeln feste Niederschläge in tropfbarflüssiges Wasser; die Tarinne entstehen, indem das flüssige Meteorwasser in den Boden eindringt, als Quellwasser hervortritt und nun sofort der Koagulation unterliegt.

Fossiles Gletschereis, so dürfen wir uns in wörtlicher und übertragener (S. 675) Verwendung des bekannten Namens ausdrücken,

hat zuerst Eschholtz (S. 727) in Alaska aufgefunden. Diese Entdeckung beutete Dall [499] weiter für die Wissenschaft aus. Vor allem aber war es v. Toll, durch dessen Aufklärungen [500] wir völlig genügende Einsicht in die als Steineis bezeichnete glaziale Formation von selbständigem Charakter erhalten haben.

Lehm und Gerölle überdecken die riesigen Eismassen, die nach v. Tolls und seines Begleiters Bunge Wahrnehmungen der asiatische und nordwestamerikanische Polarboden birgt. Durch klaffende Spalten ist der Lehm auch in das Innere des Eises gedrungen; ein Anklang an die unter dem Namen der geologischen Orgeln bekannte, u. a. von Penck [501] beschriebene Oberflächenbildung. Die Deckschicht birgt die Ueberreste diluvialer Vierfüssler, fossiles Elfenbein und sogar wohlerhaltene Exemplare des Mammuts (S. 682). Die grössten Ansammlungen verschütteten Eises wurden auf den Ljachow-Inseln entdeckt, während solche westlich vom Jenissey anscheinend fehlen. Nach v. Toll ist das Steineis als Ueberrest eiszeitlicher Gletscher aufzufassen; er begegnete auch vor der Anabarbucht einer echten Moräne, und auch die typische Konstruktur konnte aufgezeigt werden. Die Vergletscherung dürfte zu einer Zeit ihren Anfang genommen haben [502], da die Baumgrenze (vgl. I, S. 333) um einige Grade weiter nördlich hinzog, als sie heute verläuft. — Auch auf der Taymir-Halbinsel scheint festes Bodeneis unter der üblichen Deckschicht von Lehm und erratischen Blöcken sich dem Auge zu verbergen [503].

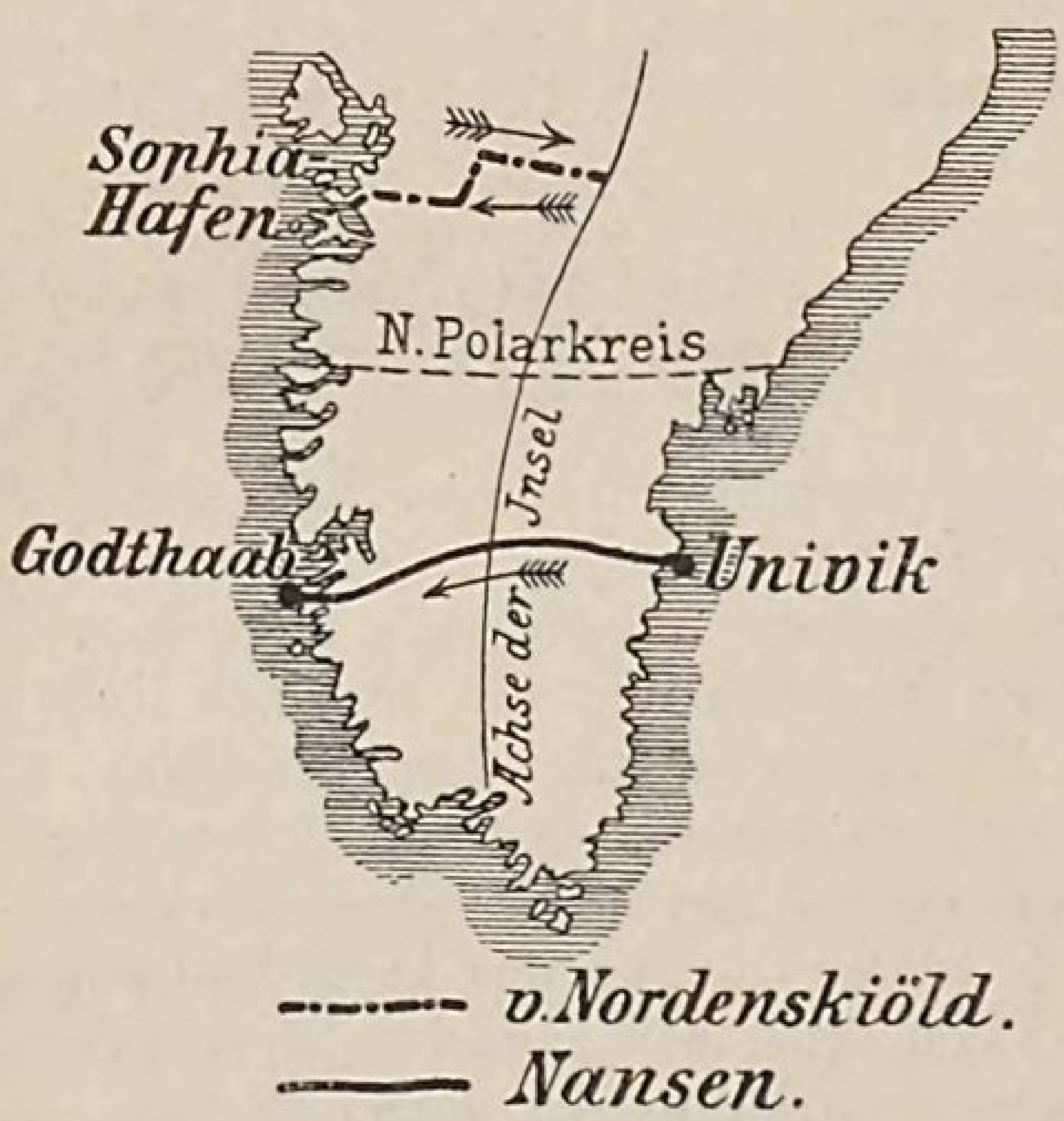
§. 16. **Das grönländische Binneneis.** Als letztes kompaktes, weit ausgedehntes Residuum jener Periode kolossalster Vergletscherung, während deren dereinst (vgl. Abt. V, Kap. IX, §. 5 ff.) ein sehr grosser Teil des Erdballes in einen Eismantel gehüllt erschien, hat uns auch die neuere Eiszeitforschung jene mächtige Binnen- oder Inlandeisdecke aufzufassen gelehrt, welche die Insel Grönland beinahe vollkommen zudeckt und gletscherartige Eisströme in die litoralen Felsenschluchten entsendet. Das Wort Eismeer würde dem Eindruck des Binneneises vielleicht am besten sich anpassen; nur spärlich und niemals weit vom Rande entfernt, ragt einmal ein vereinzelter Felsklotz — ein Nunatak in der Sprache der Eskimos — über das Eisniveau empor. Dass Uebergangsformen und Bindeglieder zwischen dem Inlandeise und den Hochgebirgsgletschern existieren, ist durch Reisen und Forschungen in den letzten Jahren ausser Zweifel gesetzt worden.

Schon der norwegische Gletschertypus weist gegenüber dem Charakter des Binneneises unverkennbare verwandtschaftliche Züge auf. In noch höherem Grade darf das (vgl. S. 727) von den Gletschern Britisch-Columbiens gesagt werden. So ähnelt nach Tarr [504] der Cornellgletscher (S. 726) dem Inlandeise hinsichtlich des Fehlens grösserer Oberflächenmoränen, die nur da sich finden, wo das rasch bewegte Eis an die auch hier zu findenden Nunataks angepresst wird. Am deutlichsten offenbart sich die Analogie beim Malaspinagletscher, von dem uns, im Anschlusse an J. C. Russels Begehung, Kobelt eine ansprechende Skizze entworfen hat [505]. Verschiedene Eisströme fliessen am Fusse des Gebirges zu einem gigantischen Gletscher zusammen, der sich ersteren gegenüber etwa so wie stehendes zu fliessendem Wasser verhält. Während der Eiszeit breiteten sich vor jedem Gebirge derartige Gletscher aus. Gletscherseen sind häufig im Bereiche der Randmoräne; viele Tümpel werden durch die Geröllmassen ausgefüllt, und wenn dann die Abschmelzung fortschreitet, bilden sich eigenartige Pyramiden und Obelisken heraus, die aus Eis mit Sandumkleidung bestehen und bewirken, dass der nordwestamerikanische Gletschertypus („Piedmont-Glacier") einige Aehnlichkeit mit demjenigen bekommt, der uns schon (S. 728) als argentinischer bekannt geworden ist.

Die jetzt festgestellte Thatsache, dass — einen schmalen, felsigen Küstensaum abgerechnet — Grönland einen zusammenhängenden Eispanzer trägt, hat lange nicht zugegeben werden wollen. Zwar hatten schon die früheren Polar-

forscher von der Ueberzeugung der Eingeborenen, jenseits des ihnen genau bekannten Uferstreifens sei das Land nur Sermiksoak (S. 724), d. h. unzugängliche Eiswüste, Kenntnis genommen, und Hayes äusserte sich [506] recht bezeichnend dahin: „Grönland kann man in der That als einen ungeheuren Eisbehälter betrachten.“ Gelegentliche Vorstösse in das Gebiet des Binneneises, deren Geschichte A. E. v. Nordenskiöld erzählt [507], konnten keine Gewissheit liefern. Dalager, Whymper, A. Brown, Nordenskiöld und Palander mit ernsten Versuchen, über welche Kjellman im Zusammenhange berichtet [508], hatten die äusserste Randzone zwar überschritten, allein es blieb noch eine offene Frage, ob nicht weiter im Inneren günstigere Verhältnisse an die Stelle der abschreckenden treten möchten, mit denen sich die Eiswanderer hatten abfinden müssen. An Mühen und Gefahren reich war die Eisreise von J. A. D. Jensen und Kornerup im Jahre 1878 [509], allein das eigentliche Binneneis waren auch sie nicht zu erreichen im stande, sondern eine Gruppe allerdings entlegener Felshügel, nunmehr Jensen-Nunataks genannt, bildete ihren äussersten Punkt. Daraufhin organisierte v. Nordenskiöld im Jahre 1883 eine selbständige Expedition zur Lösung der strittigen Hauptfrage [510]. Die von ihm mitgenommenen Lappen drangen auf ihren Schneeschuhen bis zu einem Punkte vor, der ungefähr als in der meridionalen Achse der Insel gelegen erachtet werden durfte, und obwohl dieselben mit Zuversicht eisfreie Stellen zu finden gehofft hatten, fiel ihr Befund doch genau ebenso wie derjenige aus, welcher der Expeditionsmannschaft bis zu ihrem Halteplatze entgegengetreten war [511]. Die Westhälfte Grönlands unter $68^1/_2{}^0$ Polhöhe musste nach v. Nordenskiöld als von einer zusammenhängenden Eispanzerung bedeckt anerkannt werden. Was noch ausstand, wurde durch die mit Recht berühmt gewordene Durchquerung Grönlands nachgetragen, welche Nansen im Jahre 1888 ausführte [512]. Am 15. August jenes Jahres brachen die sechs Norweger, die alle ihre Utensilien auf Schlitten mit sich zu führen gezwungen waren, von Univik am Gyldenläne-Fjord (an der Ostküste) auf und am 16. September kamen sie glücklich in der dänischen Ansiedelung Godthaab an. In Fig. 155 sind die Reiserouten der beiden Forscher dargestellt, welchen die Entschleierung der wahren Natur Grönlands zu danken ist. Die ungeheure Insel trägt einen kompakten Eismantel, dessen Oberfläche sich in den Randpartien wesentlich parallel zu derjenigen des subglazialen Felsbodens verhält, im Inneren aber — Nansen kam zu einer Maximalhöhe von 2700 m — wahrscheinlich sich bis um einige tausend Meter über das eigentliche Felsgerüste erhebt.

Fig. 155.



Unsere wissenschaftliche Kenntnis des Inlandeises geht in erster Linie auf den Dänen Rink zurück, der in verschiedenen, durchweg bedeutenden Abhandlungen [513] alle Mitteilungen über die geographischen und physikalischen Eigenschaften jenes grossartigsten aller Vergletscherungstypen sammelte und sichtete. Die wertvollsten Beiträge lieferte auch v. Nordenskiölds Reisebericht (s. o.), und Nansen hat, von Mohn unterstützt, seine eigenen Erfahrungen zu einem durch nichts anderes zu ersetzenden Gesamtbilde des physischen Verhaltens der Binneneislandschaft verarbeitet [514]. Ganz speziell für geophysikalische Zwecke organisierte die Berliner Geographische Gesellschaft eine Beobachtungsstation an der westlichen Küste Grönlands; der Geograph und Geodät v. Drygalski, die Physiker Baschin und Stade und der Naturhistoriker Vanhöffen vereinigten sich zu den von jener Station aus zu unternehmenden Arbeiten. Eine „Vorexpedition“ im Jahre 1891 stellte die örtlichen und anderen Umstände fest, unter denen die Anlegung des Beobachtungsplatzes vollziehbar erschien [515], und daraufhin wurde

die „Hauptexpedition" inszeniert, welche, Hin- und Rückreise eingeschlossen, die Zeit vom 1. Mai 1892 bis 14. Oktober 1893 in Anspruch nahm. Nach ein paar Jahren erschien sodann ein zusammenfassendes, eigene und fremde Studien vereinigendes Werk [516], auf welches jeder, der sich für das grönländische Glazialphänomen interessiert, ganz von selbst in erster Linie zurückgreifen wird.

Das eisfreie Areal Grönlands ist verschwindend klein gegenüber dem eiserfüllten, denn an der Ostküste tritt das Binneneis vielfach als Eiswall (vgl. Fig. 148) an das Meer heran. In der Mittelbreite von Nansens Schlittenreise (s. o.) hat die westliche Randzone 100, die eigentliche Eishaube 445 km Ausdehnung in der Richtung des Parallels. Inwieweit die Mittellinie dieser Kalotte — Eisscheide — durch die Kammlinie oder Wasserscheide des darunter vergrabenen Gebirges bestimmt sei, will Nansen [517] unerörtert lassen; für untergeordnet hält er diese Einwirkung in jedem Falle. Im ganzen dürfte der Rand des Vertikalprofiles, welcher von Ost gegen West durch das Binneneis hindurchgelegt zu denken ist, die Form eines flachen Kreisbogens mit der Sagitte 2700 m (s. o.) haben. Sehr irren würde man, wollte man sich die ganze Oberfläche des grönländischen Eises spiegelglatt denken; dies ist sie nur in den zentralen Partien [518], wogegen die breiten Uebergangszonen durch gehäufte Bewegungshindernisse unvorteilhaft ausgezeichnet sind. Bei v. Nordenskiöld finden wir, nachdem die Randmoräne und der von dünner Lehmschicht überzogene Eisabhang des Binneneises überschritten ist, folgende glaziale Terrainformen als miteinander abwechselnd angeführt [519]: Gipfeleis; Höckereis; schalenförmige, oft durch einen See ausgefüllte Eiswannen (S. 759); Schneebreiebenen, in der Höhe von 11—1200 m die Normalform; trockene Schneewüsten. Flüsse durchziehen das Eis, stürzen ab und zu in tiefe Schlünde und bringen, nach Berggrens Zeichnung [520], hie und da eigenartige intermittierende Gletscherspringbrunnen zuwege, welche man wohl am einfachsten dem Prinzipe des Stosshebers oder hydraulischen Widders (S. 749) unterordnen wird [521]. Bemerkenswerte, der Glazialtektonik (S. 732) zuzuweisende Bildungen sind auch die Gletscherdocks und Gletscherkanäle [522], die äusseren Merkmale innerlicher Zusammenbrüche der Eisschichten. Moränen fehlen selbstverständlich im Inneren, weil hier kein Berg vorhanden ist, von dem Steintrümmer herabfallen könnten; nur in unmittelbarer Nähe der Nunataks stösst man auf spärliche Schuttanhäufungen. Sonst treffen alle charakteristischen Kennzeichen der Gletschernatur auch hier zu; die Blaubänderung (S. 732) konnte v. Drygalski [523] ebenso wie die korrespondierende Oberflächenfurchung nachweisen. — Von einer gewissen Höhe an fand v. Nordenskiöld das Eis mit einem aus Quarz, Glimmer, Feldspat, Hornblende und anderen Mineralien zusammengesetzten Staube bedeckt [524], welchen er Kryokonit (κρύος, Eis) oder auch Lehmschlamm nannte, und dem er (vgl. I, S. 99) einen kosmischen Ursprung vindizieren wollte. Durch Einsinken der Staubteilchen in das Eis entstehen zahllose kleine Löcher von cylindrischer Form, die mit klarem Wasser gefüllt sind. Im Inneren fehlen sie nach Nansen [525]. Dieser Umstand scheint dafür zu sprechen, dass doch eher an eine lokale Entstehung des Kryokonits zu denken sei. Dies ist auch die Ansicht v. Drygalskis [526], der Form, Verteilung und Tiefe der Staublöcher längerer Prüfung unterzogen und das Vorhandensein eines angenähert fixen Staubhorizontes parallel der Eisoberfläche ermittelt hat, bis zu welchem die Mineralkörperchen durch Einschmelzen niedersinken.

Wie dem Hochschnee (S. 716), so fehlt auch dem Inlandeise nicht gänzlich organisches Leben. Die Arbeiten Wittrocks [527], welche das auf den Reisen v. Nordenskiölds zusammengebrachte Material zum Gegenstande haben, sind von hohem Belange; populär dargestellt wurden deren Ergebnisse von W. Kaiser [528]. Alle Pflanzenformen der Eisflora, so wurde eruiert [529], sind mikroskopisch klein, aber durch schöne Färbung gekennzeichnet. Ein durch Kryokonit (s. o.) und Mikroorganismen gefärbtes Karminthal benannte v. Nordenskiöld [530] nach Analogie der bekannten Karmesinklippen (S. 716). — Von autochthonen Tieren der Eiswelt sind Rädertierchen, Poduriden (Floharten) und eine nur am Rande lebende Spinne zu nennen [531]. Der schweizerische Gletscherfloh (Isotoma saltans), mit dem sich zumal C. Vogt zoologisch beschäftigt hat [532], scheint in Grönland nicht vorzukommen, wofür die von Kjelman aufgefundene blaue Abart (Podura nivalis) Ersatz bietet. „Käfer, Schmetterlinge, Wespen und Fliegen," berichtet Vanhöffen [533], „sowie eine auf Blüten lebende Wanze und wenige Netzflügler bewohnen den felsigen

Küstensaum, der das Inlandeis umgibt, und einzelne Arten hat man selbst auf den Nunataks, den rings vom Eise umschlossenen Felsinseln, vorgefunden.“ Niedere Tiere ertragen ungeheuer hohe Kältegrade, wie dies R. Pictet [534] durch den Versuch dargethan hat. Insekten können nach Welter [535] noch eine Temperatur von — 28° ganz gut aushalten, und die letale Grenze scheint für sie erst bei — 35° zu liegen.

Die tellurische Physik stellt hauptsächlich zwei Fragen: Wie haben wir uns die Masse des Binneneises entstanden zu denken, und welches sind die Bewegungsverhältnisse dieses Eiskörpers? Für beide Probleme ist das Werk der deutschen Grönlandexpedition eine Fundgrube; auch die zwischen P. Vogel und v. Drygalski über einzelne wichtige Punkte geführte Diskussion [536] trägt sehr zur Klärung der Anschauungen bei. Aus seinen Wahrnehmungen über das vom Grunde aus nach oben fortschreitende Gefrieren der grönländischen Gletscherbäche hatte Rink [537] eine Theorie abgezogen, deren Kernpunkt v. Drygalski dahin bestimmt [538]: „Das Inlandeis, von unten nach oben wachsend, ist eine einheitliche, riesige Eisüberschwemmung des inneren Grönland.“ Als die Gletscherphysik noch in ihren Kinderschuhen stand, hielt man allseitig dafür, das Gletscherwachstum schreite von unten aufwärts fort, denn Altmann sieht sich [539] veranlasst, ausdrücklich gegen eine solche Annahme zu protestieren. Die von Rink für beweisend erachtete Struktur des Eises ist nach dem, was wir jetzt (vgl. S. 730) wissen, keineswegs ausschlaggebend. Kornstruktur ist, wie eine von v. Drygalski [540] in natürlicher Grösse gezeichnete Figur ersehen lässt, allenthalben vorhanden, allein das charakteristische Kennzeichen des reinen Gletschereises ist sie eben nicht. Man darf es einstweilen für wahrscheinlich halten, dass der überwiegende Bestandteil des Inlandeises ein Produkt der Höhe und ähnlich, wie jeder Alpengletscher, entstanden zu denken ist, wozu dann aber Einlagerungen hinzukommen, die auf die Kongelation tropfbarflüssigen Wassers hinweisen [541]. — Messungen über Bewegungsgeschwindigkeit stellte v. Drygalski ausschliesslich in dem von Anfang an als Untersuchungsgebiet ersehenen Randgürtel an. Leider verhinderte ihn die Terraingestaltung an der Absteckung einer horizontalen Messungsbasis [542] (I, S. 149), und die getroffenen Auskunftsmittel konnten keine hohe Genauigkeit der Resultate verbürgen. Doch konnte sichergestellt werden, dass die in der Umgebung eines Nunataks unvermeidliche Eisstauung stets eine Verlangsamung der Bewegung zur Folge hat, und dass am Rande Schwellungen eintreten, wie sie auch bei den alpinen Gletschern nicht ganz selten vorkommen. Die Theorie der Eisbewegung, welche v. Drygalski sich gebildet hat [543], rechnet in erster Linie mit der Druckverflüssigung der tieferen Schichten (vgl. S. 746), durch welche die sonst unbehilfliche Masse den erforderlichen Grad von Beweglichkeit erhalten soll.

Jedenfalls dürfen wir als eine gesicherte Thatsache hinstellen: Dieselben Gesetze, welche die Bildung, Zusammensetzung und Bewegung der Hochgebirgsgletscher regeln, haben auch im Bereiche des grönländischen Binneneises Geltung behalten. Ihre Aktion tritt um so deutlicher hervor, je mehr man sich dem Rande nähert, denn die imposanten, Felsbuckel umströmenden Eisströme, welche von der inländischen Eispanzerung ausstrahlen, sind echte und rechte Gletscher. Mit Supan [544] können wir die interne Hauptmasse, den Sermiksoak (S. 724), als Analogon des alpinen Hochschnees, die Randzone als Analogon der Firnböden (S. 717) und endlich die Eiszungen dieses schneereichen Gürtels als wirkliche Gletscher auffassen.

Supan rechnet (a. a. O.), was ja auch ganz wohl geschehen kann, Island — mit einem Gletscherareale von über 13000 qkm —, Spitzbergen und Franz Josephs-Land zu den Binneneisgebieten, hält aber westlich von Grönland, wo es allerdings an der die Luftfeuchtigkeit nährenden warmen Meeresströmung fehlt, das Gletscherphänomen nur für ein dürftig entwickeltes. Greelys neue Forschungsreise in Grinnelland, also an der Westseite des Smithsundes, scheint aber doch zu der Erkenntnis zu führen [545], dass dortselbst, zwischen Archer- und Greelyfjord, ein homogener Eismantel von mindestens 112 km Längenerstreckung das Land bedeckt, also ebenfalls echtes Inlandeis.

[1] H. Fischer, Die Aequatorialgrenze des Schneefalles, Leipzig 1888. — [2] G. P. W., VIII, S. 566 ff. — [3] Ratzel, Die Schneedecke, besonders in deutschen Gebirgen, Stuttgart 1889. — [4] Ebenda, S. 29 ff. — [5] Friedel, Der Schneesturm vom 12. und 13. Juli 1890 in Tirol, N. W., V, Nr. 38. — [6] Ratzel, a. a. O., S. 37. — [7] Ebenda, S. 41. — [8] Rodler, Die vertikale Verteilung der Temperaturschwankungen um den Frostpunkt in der Schweiz, Z. ö. G. M., XX, S. 4 ff. — [9] J. Partsch, Die Schneedecke als Bahn des Verkehrs, W. R. G., 1891, S. 54 ff. — [10] P. Wagner, Neue Schneebeobachtungen aus dem bayerisch-böhmischen Grenzgebirge, Lp., 1898, Nr. 11. — [11] Ratzel, S. 50 ff. — [12] Volger, Eisenbahnen, Schneewehen und Rhoologie, B. A. Z., 1886, Nr. 360. — [13] v. Wrangel-v. Engelhardt, Reise längs der Nordküste von Sibirien auf dem Eismeer, Leipzig 1885, S. 127. — [14] Ratzel, Die Schneedecke, S. 62. — [15] Ebenda, S. 99 ff.; Ueber die Schneeverhältnisse in den bayerischen Kalkalpen, J. G. G. M., X, S. 225 ff. — [16] Hugi, Naturhistorische Alpenreisen, Solothurn 1830, S. 232. — [17] Kane, Der Nordpolfahrer, Leipzig 1879, S. 297. — [18] Ehrenberg, Neue Beobachtungen über blutartige Erscheinungen in Aegypten, Arabien und Sibirien, nebst einer Uebersicht und Kritik der früher bekannten, A. P. C., XVIII, S. 476 ff. — [19] A. Heim, Handbuch der Gletscherkunde, Stuttgart 1885, S. 411 ff. — [20] R. Klein, Insekten-Schnee zu Tragöss, M. Z., XV, S. 112 ff. — [21] Hampe, Ueber lachsfarbenen Schnee, N. R., XIII, Nr. 23. — [22] C. Lang, Beobachtung der Schneebedeckung, M. Z., IV, S. 15 ff. — [23] Schubert, Schneewehen und Schneeschutzanlagen, Wiesbaden 1883. — [24] Ratzel, a. a. O., S. 217 ff. — [25] Heim, a. a. O., S. 99 ff.; Ratzel, a. a. O., S. 220 ff. — [26] J. G. F. Charpentier, Essai sur les glaciers et sur le terrain erratiques du bassin du Rhône, Lausanne 1841, S. 1 ff. — [27] A. und H. Schlagintweit, Untersuchungen über die physikalische Geographie der Alpen, Leipzig 1850, S. 42 ff. — [28] C. Gruber, Die landeskundliche Erforschung Altbayerns im XVI., XVII. und XVIII. Jahrhundert, Stuttgart 1894, S. 319 ff. — [29] Heim, a. a. O., S. 101. — [30] M. Gebhardt, Versuch einer morphologischen Klassifikation der Firnflächen, Dresden 1869, S. 9. — [31] Ebenda, S. 30 ff. — [32] H. Meyer, Zur Kenntnis von Eis und Schnee des Kilimandjàro, W. V. V. E. L., I, S. 290. — [33] Ratzel, S. 121 ff. — [34] Ebenda, S. 139 ff. — [35] Ebenda, S. 150 ff. — [36] A. Kirchhoff, Anleitung zur deutschen Landes- und Volkskunde, Stuttgart 1889, S. 41 ff. — [37] Ratzel, S. 165 ff. — [38] Heim, S. 101 ff. — [39] Ratzel, S. 122. — [40] Collomb, D'un petit glacier temporaire des Vosges, B. S. Gl. F., (2) V, S. 278 ff. — [41] Klengel, Die historische Entwicklung des Begriffes der Schneegrenze von Bouguer bis auf A. v. Humboldt, 1737–1820, Leipzig 1889. — [42] Bouguer, La figure de la terre, Paris 1749, S. XLVI. — [43] Gruner, Die Eisgebirge des Schweizerlandes, III, Bern 1760, S. 32 ff. — [44] Lambert, Pyrometrie oder vom Masse des Feuers und der Wärme, Augsburg 1779, S. 232 ff. — [45] Saussure, Voyages dans les Alpes, IV, Genf 1786, a. v. St. — [46] Ramond, Observations faites dans les Pyrénés, Paris 1789, S. 289 ff.; Klengel, a. a. O., S. 42 ff. — [47] Wahlenberg, Berättelse om mäteingar och observationer för att bestämma Lapska-Fjällens höjd och temperatur, Stockholm 1808, S. 33 ff.; aus dem Schwedischen von Hausmann, Göttingen 1812, S. 51 ff.; Flora Carpathorum, Göttingen 1814, S. LXXIII. — [48] v. Buch, Reise durch Norwegen und Lappland, I, Berlin 1810, S. 133 ff.; Ueber die Grenzen des ewigen Schnees in Norwegen, A. P. C., XXXV, S. 319 ff. — [49] Klengel, S. 53. — [50] A. v. Humboldt, De distributione geographica plantarum secundum coeli temperiem et altitudinem montium prolegomena, Paris 1817, S. 122 ff.; Essai sur la géographie des plantes, ebenda 1807, S. 32 ff.; Recueil d'observations trigonométriques et de mesures barométriques, rédigées par J. Oltmanns, Paris 1819, S. 329 ff.; Sur la limite inférieure des neiges perpétuelles dans les montagnes d'Himálaya et les régions équinoxiales, A. C. P., XIV, S. 5 ff.; O. J., 1821, S. 551 ff.; Beobachtungen über das Gesetz der Wärmeabnahme in den höheren Regionen der Atmosphäre und über die untere Grenze des ewigen Schnees, A. P. C., XXIV, S. 1 ff. — [51] D'Aubuisson-Wiemann, Traité de géognosie, I, Dresden 1831, S. 422 ff. — [52] Tob. Mayer, De investigandis, legibus variationum thermometri, Op. ined., ed. Lichtenberg, I, Göttingen 1794, S. 4 ff. — [53] Hällström, De termino atmosphaerae terrestris nivali dissertatio, Abo 1823. — [54] De la Condamine, Journal de voyage à l'équateur, Paris 1751, S. 48 ff. — [55] Travels of Ali Bey in Marocco, I, London 1816, S. 40 ff. — [56] G. F. Parrot, Grundriss der Physik der Erde und Geologie, Riga-Leipzig 1815, S. 174 ff. — [57] Klengel, S. 56 ff. — [58] Kämtz, Lehrbuch der Meteorologie, II, Halle a. d. S. 1832, S. 159 ff. — [59] W. G. J. (damals Behm), I, S. 256 ff.; V, S. 472 ff. — [60] Grad, La limite des neiges persistantes et la lisière des glaces fixes à la surface du globe, A. f. s., 26. August 1875. — [61] Güssfeldt, Ueber die Eisverhältnisse im Hochgebirge, V. G. E. B., VI, S. 87 ff. — [62] Stapff, Ueber das physikalische Verhalten der Gletscher, Z. d. G. G., XXXIV, S. 80 ff. — [63] Payer, Die zweite deutsche Nordpolexpedition, P. G. M., XVII, S. 123 ff. — [64] Supan, Grundzüge der physischen Erdkunde, Leipzig 1896, S. 144. — [65] H. Schlagintweit, Meteorologische Resultate aus Indien und Hochasien, München 1865, S. 25 ff. — [66] Stebnitzki, Die Höhe der Schneegrenze im Kaukasus, P. G. M., XXV, S. 111. — [67] Schwarze, Die Firngrenze in Amerika, namentlich in Südamerika und Mexiko, W. V. V. E. L., I, S. 1 ff. — [68] Ebenda, S. 86. — [69] A. Erman, Ueber das Vorkommen von ewigem Schnee im Meeresniveau, M. V. G. E. B., 1840, S. 23 ff. — [70] Klengel, S. 83. — [71] P. Vogel, Ueber die Schnee- und Gletscherverhältnisse auf Süd-Georgien, J. G. G. M., X, S. 81 ff. — [72] Penck, Morphologie der Erdoberfläche, II, Stuttgart 1894, S. 333. — [73] F. Kerner v. Marilaun, Die Schneegrenze im Gebiete des mittleren Innthales, D. A. W., M. N., 1887, LIV. — [74] E. Richter, Die Gletscher der Ostalpen, Stuttgart 1888. — [75] Brückner, Die Hohen Tauern und ihre Eisbedeckung, Z. d. ö. A., XVII, S. 180 ff. — [76] J. Partsch, Die Gletscher der Vorzeit in den Karpathen und in den deutschen Mittelgebirgen Deutschlands, Breslau 1882, S. 174 ff. — [77] Penck, Geographische Wirkungen der Eiszeit, V. IV. D. G., S. 66 ff. — [78] Brückner, Die Vergletscherung des Salzachgebietes nebst Beobachtungen über die Eiszeit in der Schweiz, Wien 1886 (P. G. A., I, 1), S. 47. — [79] Hoefer, Gletscher- und Eiszeitstudien, Wien 1879. — [80] Kurowski, Die Höhe der Schneegrenze, Wien 1891. — [81] Ratzel, Zur Kritik der sogenannten Schneegrenze, Lp. 1886, Nr. 19—24. — [82] E. Richter, Schneegrenze und Firnfleckenregion, M. d. d. ö. A., 1887, Nr. 5. — [83] Hann, Handbuch der Klimatologie, I, Stuttgart 1897, S. 302 ff. — [84] Ratzel, Höhengrenzen und Höhengürtel, Z. d. ö. A., XX, S. 132. — [85] Brückner, Ueber den Einfluss der Schneedecke auf das Klima der Alpen, Z. d. ö. A., XXIV, S. 31 ff. — [86] Ratzel, Der Einfluss des Firnes auf Schuttlagerung und Humusbildung, M. d. ö. A., 1887, Nr. 9. — [87] Ratzel, Höhengr. etc., S. 135. — [88] Coaz, Die Lawinen in den Schweizer Alpen, Bern 1881. — [89] Heim, S. 22 ff. — [90] Volger, Ueber die vermeintlich „fliessende" Bewegung des Schnees auf Dächern, M. Z., IV, S. 222 ff. — [91] Ratzel, Die Schneed., S. 238 ff. — [92] Ebenda, S. 56, 130 ff. — [93] Ebenda, S. 132. — [94] Heim, S. 36 ff. — [95] Wilhelm Tell, III. Aufzug, 3. Szene. — [96] Stichler, Alpenlawinen und deren Abwehr, M. d. ö. A., 1885, Nr. 4. — [97] Heim, S. 39. — [98] Döderlein, Sebastian Münster, ein Wiedererwecker des Ptolemaeus, B. b. G. R., XV, S. 435. — [99] Seb. Münster, Cosmographey, Basel 1564, S. CCCCLXXXIII ff. — [100] Grünwald, Zur Geschichte der Gletscherforschung, Z. d. ö. A., XIII, S. 332. — [101] R. Wolf, Biographien zur Kulturgeschichte der Schweiz, I, Zürich 1858, S. 190 ff. — [102] B. Studer, Geschichte der physischen Geographie der Schweiz,

Bern 1863. — [103] R. Wolf, a. a. O., I, S. 192. — [104] Altmann, Versuch einer historischen und physischen Beschreibung der Helvetischen Eisberge, Zürich 1751. — [105] Ebenda, S. 99. — [106] S. Gruner, Die Eisgebirge des Schweitzerlandes, Bern 1760; Reise durch die merkwürdigsten Gegenden Helvetiens, ebenda 1778. — [107] R. Wolf, II, S. 284. — [108] Ebenda, IV, S. 258 ff. — [109] Walcher, Von den Eisbergen in Tyrol, Wien 1773. — [110] Hugi, Winterreise in das Eismeer und über das Wesen der Gletscher, Stuttgart 1842; Die Gletscher und die erratischen Blöcke, Solothurn 1843. — [111] L. Agassiz, Études sur les glaciers (auch deutsch), Neuenburg 1840; Nouvelles études et expériences sur les glaciers actuel, Paris 1847. — [112] Dessor-C. Vogt, Agassiz und seiner Freunde wissenschaftliche Alpenreisen, Frankfurt a. M. 1847. — [113] L. Agassiz-E. C. Agassiz-Mettenius, Leben und Briefwechsel, Berlin 1886. — [114] G. P. W., III, 133 ff. — [115] Mousson, Die Gletscher der Jetztzeit, Zürich 1854. — [116] Helmholtz, Populäre wissenschaftliche Vorträge, I, Braunschweig 1865, S. 93 ff. — [117] F. Pfaff, Die Naturkräfte in den Alpen, München 1877. — [118] Tyndall, Das Wasser in seinen Formen als Wolken und Flüsse, Eis und Gletscher, Leipzig 1879; In den Alpen, Braunschweig 1872; Die Gletscher der Alpen, ebenda 1898. — [119] Heim, S. 414 ff. — [120] Ebenda, S. 45. — [121] Hann-v. Hochstetter-Pokorny, Allgemeine Erdkunde, Prag-Leipzig 1886, S. 438. — [122] Euringer, Berg- und Gletscherfahrten in der Montblanc-Kette, Z. d. ö. A., XXVII, S. 140 ff. — [123] Tyndall, In den Alpen, S. 51. — [124] E. Richter, Der Blaueisgletscher am Hochkalter bei Berchtesgaden, A., LV, S. 13 ff. — [125] Marinelli, I più orientali ghiacciai d'Italia, Padua 1883. — [126] Heim, S. 417. — [127] E. Richter, Der südlichste Gletscher von Europa, A., LV, S. 526 ff. — [128] Kolbenheyer, Die Hohe Tatra, Teschen 1891. — [129] Heim, S. 434 ff. — [130] Durocher, Mémoire sur la limite des neiges perpétuelles sur les glaciers de Spitzberg, comparés à ceux des alpes, Voyage de Gaymard, I, 1, S. 237 ff. — [131] Thoroddsen-A. Gebhardt, Geschichte der isländischen Geographie, I, Leipzig 1897, S. 223. — [132] Heim, S. 442. — [133] Ebenda, S. 428 ff. — [134] W. Geiger, Die Pamir-Gebiete; eine geographische Monographie, Wien 1887 (P. G. A., II, 1), S. 49. — [135] Heim, S. 425. — [136] Shaw-Martin, Reise nach der hohen Tartarei, Yârkand und Kaschgar und Rückreise über den Karakorumpass, Jena 1872, S. 369. — [137] Heim, S. 434. — [138] O. Lenz, Timbuktu, I, Leipzig 1892, S. 286. — [139] Haast, Notes on the Mountains and glaciers of the Canterbury Province, New-Zealand, J. G. S., XXXIV, S. 87 ff. — [140] Kronecker, Reisen in den südlichen Alpen Neu-Seelands, Z. d. ö. A., XXVIII, S. 1 ff. — [141] v. Lendenfeld, Die Alpen Neu-Seelands, ebenda, XX, S. 484 ff. — [142] v. Zittel, Vulkane und Gletscher im nordamerikanischen Westen, ebenda XXI, S. 11. — [143] Ebenda, S. 18. — [144] Tarr, The Margin of the Cornell Glacier, T. A. G., XX, S. 139 ff. — [145] Heim, S. 445 ff. — [146] Ch. Darwin-Carus, Reise eines Naturforschers um die Welt, Stuttgart 1893, S. 262. — [147] Heim, S. 482. — [148] Otto v. Kotzebue-v. Engelhardt, Entdeckungsreise in die Südsee und nach der Beringstrasse, Weimar 1821, S. 146 ff. — [149] H. Weber, Die Entwicklung der physikalischen Geographie der Polarländer bis auf Cooks Zeiten, München 1898 (M. G. St., IV), S. 13. — [150] Hayes-Martin, Das offene Polarmeer, Jena 1868, S. 115 ff. — [151] Peary, Journeys in North Greenland, G. J., XI, S. 223. — [152] Heim, S. 488 ff. — [153] Fricker, Antarktis, Berlin 1898, S. 194 ff. — [154] Penck, I, S. 385. — [155] Heim, S. 41. — [156] Rendu, Théorie des glaciers des Alpes, Chambéry 1843. — [157] Hayes-Martin, S. 170 ff. — [158] E. Richter, Beobachtungen an den Gletschern der Ostalpen, Z. d. ö. A., XIV, S. 61. — [159] E. Richter, Die Gl. d. Ostalpen, S. 9 ff. — [160] Heim, S. 40 ff. — [161] Ebenda, S. 44. — [162] v. Sonklar, Allgemeine Orographie, Wien 1873, S. 108 ff. — [163] Heim, S. 50; E. Richter, Die Gletscher Norwegens, G. Z., II, S. 305 ff. — [164] Deckert, Die norwegischen Fjelde, H., II, S. 267 ff. — [165] Ch. Darwin-Carus, a. a. O., S. 353. — [166] Güssfeldt, Reise in den zentralen chileno-argentinischen Anden, G., XX, S. 582 ff. — [167] Brackebusch, Die Penitentesfelder der argentinischen Kordilleren, Gl., LXIII, S. 1 ff. — [168] Die Nordpolreisen Adolf Erik v. Nordenskiölds 1858 bis 1879, Leipzig 1880, S. 147 ff. — [169] Hauthal, Gletscherbildung in den Kordilleren, L. P. P., 18. Oktober 1894; Gletscherstudien aus der argentinischen Kordillere, Gl., LXVII, S. 37 ff. — [170] Heim, S. 51. — [171] Rabot, Les glaciers de Spitzberg, C. R., CXVII, S. 72 ff. — [172] Sachs, Die Eisverhältnisse im arktischen Gebiete; das Gletschereis, Halle a. d. S. 1889. — [173] Ebenda, S. 108 ff. — [174] Ebenda, S. 117. — [175] v. Richthofen, Führer für Forschungsreisende, Berlin 1886, S. 215. — [176] Heim, S. 118 ff. — [177] Heim, Ueber die Entstehung und Bildung des Gletscherkornes, V. N. G. Z., 1885, S. 97 ff. — [178] Hugi, Die Gletscher etc., S. 10 ff. — [179] Hagenbach-Bischoff, Das Gletscherkorn, V. N. G. B., VII, S. 192 ff. — [180] Forel, Le grain du glacier, A. s. p. n., VII, S. 329 ff. — [181] Tyndall, Glaciers of the Alps, London 1860, S. 354 ff. — [182] Tyndall, Die Gl. d. Alpen, S. 429 ff. — [183] Grad-Dupré, Observations sur la constitution et le mouvement des glacier, C. R., LXIX, S. 955 ff. — [184] Klocke, Ueber die optische Struktur des Gletschereises, N. J. M. G. P., 1881, S. 23 ff. — [185] Heim, Handbuch etc., S. 38. — [186] Emden, Ueber das Gletscherkorn, Zürich 1890; A. s. p. n., XX, S. 211 ff.; XXII, S. 365 ff.; M. G. G. W., 1893, S. 897 ff. — [187] H. Weber, a. a. O., S. 46 ff. — [188] Emden, a. a. O., S. 27 ff. — [189] Mousson-Hagenbach-Bischoff, Sur les grains du glacier, A. s. p. n., 1889, II, S. 367 ff. — [190] Ratzel, S. 119. — [191] Forel-Hagenbach, La température de la glace dans l'intérieur du glacier, A. s. p. n., 1879, I, S. 5 ff. — [192] Heim, S. 125. — [193] Forel, Le grain etc., S. 346. — [194] Heim, S. 128. — [195] Forbes, Travels through the Alps, Edinburgh 1845, S. 162. — [196] Tyndall, Die Gl. d. Alp., S. 446. — [197] Tyndall, Das Wasser etc., S. 152. — [198] Tyndall, Die Gl. d. Alp., S. 55. — [199] Ebenda, S. 458. — [200] Heim, S. 134. — [201] Tyndall, a. a. O., S. 461 ff. — [202] Guyot, Sur les crévasses des glaciers, Neuenburg 1838. — [203] L. Agassiz, Le système etc., S. 301 ff. — [204] L. Agassiz-E. C. Agassiz-Mettenius, S. 185. — [205] Heim, S. 240. — [206] Ebenda, S. 129. — [207] Ebenda, S. 131. — [208] De Seue, Le névé de Intesdal et ses glaciers, Christiania 1870. — [209] Heim, S. 138. — [210] Ebenda, S. 311. — [211] Helmholtz, a. a. O., S. 121. — [212] Tyndall, a. a. O., S. 420 ff. — [213] Ebenda, S. 424. — [214] Heim, S. 286. — [215] S. Carnot, Réflexions sur la puissance motrice du feu et sur les machines propres à développer cette puissance, Paris 1824, S. 30 ff. — [216] J. Thomson, Theoretical Considerations on the Effect of Pressure, V. E. S., XXI, S. 575 ff. — [217] Faraday, Note on Regelation, P. M., 1859, S. 162 ff.; A. P. C., CXI, S. 647 ff. — [218] Klutschak, Als Eskimo unter den Eskimos, Wien-Pest-Leipzig 1881, S. 203. — [219] Dollfuss-Ausset, Glaciers en activité dans les Alpes, Paris 1864; Résumés météorologiques et glaciaires, ebenda 1870. — [220] Forel, Pierres enchâssées dans la glace, B. S. V, X. — [221] Heim, S. 289. — [222] Forel, Essai sur les variations périodiques des glaciers, A. s. p. n., 1881, S. 5 ff., 448 ff. — [223] C. V. S. F., 1891, Nr. 6; K. J., IV, S. 254 ff. — [224] Sieger, Die Oberflächenformen der Gletscher, M. d. ö. A., 1896, Nr. 20—22; Die Karstformen der Gletscher, G. Z., I, S. 182 ff. — [225] Sven Hedin, Forschungen über die physische Geographie des Hochlandes Pamir, Z. G. E. B., XXIX, S. 310 ff. — [226] Tyndall, S. 45 ff. — [227] Ebenda, S. 143. — [228] Hugis Bemerkungen über das Leuchten der Firnmassen, K. A. C. M., II, S. 390. — [229] J. Maurer, Das Phosphoreszieren der Gletscher, M. Z., XV, S. 108 ff. — [230] Heim, S. 283. — [231] Tyndall, S. 440 ff. — [232] Ebenda, S. 107. — [233] Heim, S. 253. — [234] Ebenda, S. 255 ff. — [235] Güssfeldt, Reise in den Anden von Chile und Argentinien

Berlin 1888, S. 184. — [236] Ebenda, S. 273. — [237] Heim, S. 259 ff. — [238] Finsterwalder, Hydrologische Messungen von Gletscherseen, M. Z., IX, S. 197 ff. — [239] Greim, Die Pegelstation im Jambach bei Galtür, B. U. d. ö. A., IV, 1896. — [240] Heim, S. 243. — [241] Tyndall, S. 53 ff. — [242] F. Simony, Gletscherphänomene; Tableau in Lichtdruck, Wien 1881. — [243] Heim, S. 342. — [244] Altmann, a. a. O., S. 24. — [245] v. Zittel (vgl. S. 661), S. 331. — [246] Statistisches Jahrbuch von Bern, 1894, S. 37 ff. — [247] Diener, Alpengletscher ohne Oberflächenmoränen, V. G. R., 1895, Nr. 8; P. G. M., XLI, S. 21 ff., 51 ff., 100 ff. — [248] Heim, S. 319. — [249] Baëff, Les eaux de l'Arve, Genf 1891; C. C., 1895, I, S. 980 ff. — [250] Penck, Die Vergletscherung der deutschen Alpen; ihre Ursachen, periodische Wiederkehr und ihr Einfluss auf die Bodengestaltung, Leipzig 1882, S. 33 ff. — [251] Ebenda, S. 41. — [252] Holst, Berättelse om en igeologisk syste företagen resa till Grönland, Stockholm 1886. — [253] Penck, Morph. etc., I, S. 401. — [254] Finsterwalder, Der Vernagtgletscher, seine Geschichte und seine Vermessung in den Jahren 1888 und 1889, W. E. Z. d. ö. A., I, 1, S. 55. — [255] Heim, S. 356. — [256] Ebenda, S. 359 ff. — [257] Duparc, Variations dans la quantité d'alluvion chariée dans les torrents glaciaires, A. s. p. n., (3) XXVI, S. 531 ff. — [258] Oeyen, Slammängden i bräelve, Nn., 1893, S. 340 ff. — [259] Penck, a. a. O., S. 403. — [260] J. Simmler, Vallesiae et Alpium descriptio, Leiden 1633, S. 193 ff. — [261] Altmann, S. 83. — [262] R. Wolf, Biographien etc., II, S. 444. — [263] Heim, S. 143 ff. — [264] Finsterwalder, Zur Praxis der Gletscheraufnahmen, M. d. ö. A., 1887, Nr. 8. — [265] Greim, Die Gletschermessungen in den Alpen, Gl., LXII, S. 113 ff. — [266] Finsterwalder-Blümcke, Die Vermessung des Vernagtferners, M. d. ö. A., 1888, Nr. 19. — [267] Finsterwalder, Der Gliederferner, Z. d. ö. A., XIX, S. 42 ff., Finsterwalder-Schunck, Der Gepatschferner, ebenda XIX, S. 50 ff. — [268] Ebenda, S. 55. — [269] Kerschensteiner, Die Resultate der zweiten Gepatschfernervermessung, Schweinfurt 1893. — [270] Pfaundler, Ueber die gegenwärtigen Grenzen des Alpeinergletschers in der Stubaier Gebirgsgruppe, Z. d. ö. A., XVIII, S. 58 ff. — [271] H. Hess, Nachmessung am Alpeinerferner, ebenda, XXVI, S. 21 ff. — [272] H. Hess, Ueber die Grenze zwischen Schmelz- und Sammelgebiet der Gletscher, V. 65. N. V., N. A., S 199 ff. — [273] Finsterwalder, Der Vernagtferner; dazu ein Anhang: Blümcke-Hess, Die Nachmessungen am Vernagtferner in den Jahren 1891, 1893 und 1895, W. E. Z. d. ö. A., I, 1. — [274] Penck, Besprechung hiezu, N. J. M. G. P., 1898, II, S. 49. — [275] Finsterwalder, a. a. O., S. 39. — [276] Ebenda, S. 41. — [277] Bessels, Die amerikanische Nordpolexpedition, Leipzig 1879, S. 399. — [278] Ebenda, S. 60 ff. — [279] Ebenda, S. 42. — [280] F. Pfaff, Das Mikrogoniometer, ein neues Messinstrument, und die damit bestimmten Ausdehnungskoeffizienten der Metalle, Erlangen 1872; S. A. M., M. P., 1876, S. 105 ff. — [281] K. R. Koch-Klocke, Ueber die Bewegung der Gletscher, A. P. C., (2) VIII, S. 661 ff. — [282] Klocke, Die Art der Gletscherbewegung, Z. d. ö. A., XI, S. 66. — [283] F. Pfaff, Einige Bemerkungen zu den Beobachtungen über Gletscherbewegung der Herren Koch und Klocke, ebenda, XI, S. 198 ff.; Untersuchungen über die Bewegung des Pasterzengletschers, ebenda, XII, S. 1 ff. — [284] E. Richter, Der Obersulzbachgletscher in den Jahren 1880—82, ebenda, XIV, S. 38 ff. — [285] Tyndall, S. 328. — [286] Ebenda, S. 333 ff. — [287] Forel, Die Vermessung des Rhônegletschers durch den Schweizer Alpenklub, Z. d. ö. A., XIII, S. 301 ff. — [288] Ebenda, S. 310. — [289] Seeland, Studien am Pasterzengletscher, ebenda, XI, S. 205 ff.; XII, S. 171 ff.; XIII, 110 ff.; XIV, S. 93 ff.; XV, S. 51 ff.; XVI, S. 79 ff.; XVII, S. 119 ff.; XVIII, S. 90 ff.; XIX, S. 58 ff.; XX, S. 529 ff.; XXI, S. 480 ff.; XXII, S. 457 ff.; XXIII, S. 427 ff.; XXIV, S. 486 ff. — [290] F. Simony, Ueber die Gletscher des Dachsteingebirges, M. d. ö. A., 1878, S. 65 ff., 109 ff.; Das Karlseisfeld, N. D. A. Z., 1878, S. 97 ff., 111 ff.; Das Dachsteingebirge, ein geographisches Charakterbild aus den Nordalpen, Z. d. ö. A., XII, S. 217 ff.; Ueber die Schwankungen in der räumlichen Ausdehnung des Dachsteingletschers während der Periode 1840—1884, M. G. G. W., 1885, S. 113 ff. — [291] Heim, S. 144 ff. — [292] Ebenda, S. 156. — [293] Tyndall, S. 345. — [294] Ebenda, S. 346; In den Alpen, S. 382 ff. — [295] Ebenda, S. 166 ff. — [296] Ebenda, S. 168 ff. — [297] Ebenda, S. 145. — [298] Report of the third Meeting of the Australian Association for the Advance of Science, Christchurch 1891; K. J., IV, S. 259. — [299] Helland, Observations sur les glaciers du Nord de Groenland et sur la formations des icebergs. C. R., LXXXV, S. 588 ff. — [300] Heim, S. 205. — [301] Tyndall, a. a. O., S. 386 ff. — [302] Hopkins, On the Mechanism of Glace Motion, P. M., 1845, S. 146 ff., 237 ff., 325 ff., 593 ff.; C. Tr., VIII, S. 50 ff. — [303] Heim, S. 209. — [304] Tyndall, S. 389. — [305] Ebenda, S. 392. — [306] Heim, S. 191 ff. — [307] Ebenda, S. 196. — [308] Martins-C. Vogt, Von Spitzbergen zur Sahara, II, Jena 1873, S 316. — [309] Tyndall, S. 61. — [310] Tyndall, In den Alpen, S. 289. — [311] Heim, S. 290 ff. — [312] Finsterwalder, a. a. O., S. 47 ff. — [313] Tresca, Mémoire sur l'écoulement des corps solides, M. p., XX, S. 78 ff. — [314] L. Hartmann, Distributions des déformations dans les métaux soumis à des efforts, Paris 1896. — [315] Grunmach, Ueber den Einfluss des Streckens durch Zugbelastung auf die Dichte des Materiales, A. P. C., (2) LXVII, S. 227 ff. — [316] Finsterwalder, a. a. O., S. 49. — [317] Ebenda, S. 53. — [318] Ebenda, S. 56. — [319] Ebenda, S. 66. — [320] J. J. Scheuchzer, Itinera per Helvetiae alpinas regiones facta, IV, Leiden 1723, S. 287 ff. — [321] Tyndall, D. Gl. etc., S. 358. — [322] Grünwald, a. a. O., S. 333. — [323] Heim, S. 295. — [324] Koch-Klocke, a. a. O., S. 665. — [325] Hugi, Die Gletscher etc., S. 10. — [326] Élie de Beaumont, Remarques sur deux points de la théorie des glaciers, A. S. Gl., II, S. 553 ff. — [327] Ladame, Observations sur le passage de la neige farineuse à la neige grenue et de celle-ci à la glace compacte, suivies d'applications à la théorie des glaciers, A. s. p. n., (1) VII, S. 120 ff. — [328] Nicolet, Sur les transformations que la neige subit pendant l'hiver, B. N., I, S. 109 ff. — [329] Bertin, Sur la constitution de la glace glaciaire, C. R., LXIII, S. 346 ff.; Étude sur la glace des glaciers, Ms., 1867, S. 220 ff. — [330] Grad, Sur la constitution et le mouvement des glaciers, C. R., LXIV, S. 44 ff.; Observations sur les glaciers de Grindelwald, B. S. Gl., 1869, S. 687 ff. — [331] Forel, Le grain etc., S. 360 ff. — [332] Biselx, Von dem Schnee, den Gletschern und Lawinen der Alpen, G. A. P., LXIV, S. 183 ff. — [333] Heim, S. 299. — [334] Moseley, On the mechanical Impossibility of the Descent of Glaciers by their Weight only, P. M., 1869, S. 363 ff. — [335] Browne, Discussion des causes, auxquelles on doit attribuer le mouvement des glaciers, C. R., XCVII, S. 20 ff.; On the Causes of Glacier Motion, N., XXVIII, S. 235 ff. — [336] Mathews, On Canon Moseleys Views upon Glaciers, P. M., 1871, S. 332 ff., 415 ff. — [337] Tyndall, S. 359. — [338] Heim, S. 335. — [339] Croll, On the physical Cause of the Motion of Glaciers, P. M., 1869, S. 201 ff. — [340] J. Thomson, On the Plasticty of Ice, manifested in glaciers, P. R. S., VIII, S. 455 ff. — [341] Tyndall, S. 413 ff. — [342] Heim, S. 308 ff. — [343] Ebenda, S. 311. — [344] Forbes, Lettres on Glaciers, E. N. P. J., XXXVI, S. 227 ff.; XXXVII, S. 231 ff., 375 ff.; XXXVIII, S. 332 ff.; XL, S. 154 ff.; XLI, S. 414 ff.; XLII, S. 94 ff., 130 ff., 327 ff.; XLVI, S. 139 ff.; L, S. 167 ff.; P. M., 1859, S. 197 ff.: Illustrations of the viscous Theory of Glacier Motion, P. T., 1846, II, S. 143 ff., 157 ff., 177 ff. — [345] Tyndall, S. 378 ff.; Thomson-Tait, Handbuch der theoretischen Physik, deutsch von Helmholtz-Wertheim, II, 2, Braunschweig 1874, S. 290 ff. — [346] A. u. H. Schlagintweit, a. a. O., S. 124. — [347] Bianconi, Élasticité et plasticité de la glace, J. Ph., 1876, S. 317 ff.; Nouvelles expériences sur la flexibilité de la glace,

C. R., LXXXII, S. 1193 ff. — [348] F. Pfaff, Das Wasser, München 1870, S. 205 ff. — [349] Tyndall, S. 420 ff. — [350] Helmholtz, a. a. O., S. 125 ff. — [351] Heim, S. 320. — [352] Tyndall, S. 51 ff. — [353] Heim, S. 325. — [354] Bottomley, Flow of viscous Materials — a Model Glacier, N., XXI, S. 59. — [355] K. R. Koch, Ueber künstliche Gletscher, A. P. C., (2) LI, S. 212 ff.; Z. d. ö. A., XXIV, S. 490 ff. — [356] Heim, Ueber Gletscher, A. P. C., V. E. B., S. 30 ff. — [357] v. Zittel, S. 331. — [358] Venetz, Mémoire sur l'extension des anciens glaciers, D. S. N. G., XVIII, S. 488 ff. — [359] Fritz, Die periodischen Längenänderungen der Gletscher, P. G. M., XXIV, S. 381 ff. — [360] Forel, Rapports sur les variations périodiques des Alpes suisses, E. A., 1881—1882; J. S. A. C., 1883—1890; A. s. p. n., 1890 ff. — [361] E. Richter, Les variations périodiques des glaciers, III. Rapport, ebenda, 1897, S. 51 ff. — [362] Heim, Handbuch etc., S. 500 ff. — [363] E. Richter, Geschichte der Schwankungen der Alpengletscher, Z. d. ö. A., XXII, S. 1 ff. — [364] Sieger, Zur Geschichte der Gletscherschwankungen, M. d. ö. A., 1807, Nr. 22. — [365] Forel, XVII. Rapport sur les variations périodiques des glaciers des Alpes suisses, J. S. A. C., 1898, S. 249 ff. — [366] Finsterwalder, Ueber die Gletscherschwankungen im Adamello- und Ortlergebiete, M. d. ö. A., 1896, Nr. 2. — [367] Fritsch, Zusammenstellung der von Bergführern eingesandten Berichte über Gletscherbeobchtungen in der Glockner-, Venediger- und Ortlergruppe, ebenda, 1899, Nr. 3. — [368] E. Richter, III. Rapport, S. 57 ff. — [369] Penck, Gletscherstudien im Sonnblickgebiete, Z. d. ö. A., XXVIII, S. 52 ff. — [370] E. Richter, a. a. O., S. 61 ff. — [371] Ebenda, S. 69 ff. — [372] Prinz R. Bonaparte, Mesure des variations de longueur des glacier du Dauphiné (massive de Pelvoux), C. R., CXIV, S. 861 ff. — [373] E. Richter, S. 70 ff. — [374] Dinning, Ueber die Gletscher des Kaukasus, V. G. E. B., XVIII, S. 488 ff. — [375] C. Hahn, Einige Bemerkungen über die kaukasischen Gletscher und Seen', A., LXV, S. 381 ff. — [376] K. J., IX, S. 280. — [377] Ebenda, IX, S. 282; N. R., XIII, S. 131. — [378] E. Richter, Geschichte etc., S. 27 ff., 33 ff. — [379] Ebenda, S. 43. — [380] Heim, S. 502. — [381] De Marchi, La variazioni periodiche dei ghiacciai, R. J. L., (2) XXVIII, S. 1018 ff. — [382] Forel, La cause des variations périodiques des glaciers, et la théorie de ces variations, J. S. A. C., 1897, S. 292. — [383] Fritz, Die Beziehungen der Sonnenfleckenperiode zu den magnetischen und meteorologischen Erscheinungen der Erde, Harlem 1878, S. 130 ff. — [384] E. Richter, Ueber Beobachtungen an den gegenwärtigen Gletschern, V. IV. D. G., S. 87 ff. — [385] C. Lang, Eine klimatologische Studie über die Eiszeit, W., II, Nr. 11; Günther, Gletscherschwankungen und Eiszeit, N. R. I, S. 93 ff. — [386] Heim, S. 510. — [387] Zöppritz, Die Fortschritte der Geophysik, W. G. J., X, S. 53. — [388] v. Frey, Ueber die Ursachen der Gletscherschwankungen, Z. d. ö. A., XIV, S. 244 ff. — — [389] Ebenda, S. 253. — [390] E. Richter, Geschichte etc., S. 51 ff. — [391] Ebenda, S. 74. — [392] Ebenda, S. 55 ff. — [393] Waeber, Zur Frage des alten Passes zwischen Grindelwald und Wallis, J. S. A. C., 1802, S. 253 ff. — [394] Kasthofer, Bemerkungen auf einer Alpenreise über den Susten, nebst Betrachtungen über die Veränderungen des Klimas des bernischen Hochgebirges, Aarau 1822. — [395] B. Studer, Das Panorama von Bern, Bern 1850, S. 214 ff. — [396] B. Studer, Der alte Gletscherpass zwischen Wallis und Grindelwald, J. S. A. C., 1880, S. 496 ff. — [397] Grube-Benda, Alpenwanderungen; Fahrten auf hohe und höchste Alpenspitzen, Leipzig 1886, S. 84 ff. — [398] Tyndall, S. 75. — [399] Richter, S. 23 ff. — [400] Heim, Die Gletscherlawine an der Altels am 11. September 1895, Zürich 1895 (N. N. G. Z. 1896), S. 4. — [401] Du Pasquier, L'avalanche de l'Altels le 11 septembre 1895, Neuenburg 1896. — [402] Brückner, Der Gletscherausbruch an der Altels, H. E., VIII, S. 57 ff. — [403] Früh, Der Gletschersturz an der Altels, M. O. G. K. G., 1896, S. 78 ff. — [404] Heim, a. a. O., S. 11. — [405] Heim, Ueber den Eisgang der Sihl am 3. Februar 1893, V. N. G. Z., XXXIX, S. 323 ff. — [406] Heim, Die Gletscherlawine etc., S. 17. — [407] Ebenda, S. 34. — [408] Ebenda, S. 54 ff. — [409] Heim, Handbuch ete., S. 59 ff. — [410] Ebenda, S. 68. — [411] Gosset, Der Märjelen-See, J. S. A. C., 1887, S. 340 ff. — [412] Widmann, Spaziergänge in den Alpen, Frauenfeld 1892, S. 242 ff. — [413] F. Richter, Urkunden über die Ausbrüche des Vernagt- und Gurglergletschers im XVII. und XVIII. Jahrhundert, aus den Innsbrucker Archiven herausgegeben, Stuttgart 1892. — [414] Ebenda, S. 30 ff. — [415] Ebenda, S. 66 ff. — [416] Finsterwalder, Der Vernagtferner etc., S. 86 ff. — [417] Ebenda, S. 91. — [418] Der Ausbruch des Eissees im Martellthale, M. d. ö. A., 1891, Nr. 12, 13. — [419] Finsterwalder, Die Gletscherausbrüche des Martellthales, Z. d. ö. A., XXI, S. 21 ff. — [420] Ebenda, S. 30. — [421] Sepp, Merkwürdiges an der Bahn von Wolfratshausen nach Kochel, München 1898, S. 62. — [422] E. Richter, a. a. O., S. 86. — [423] R. Wolf, a. a. O., IV, S. 337 ff.; K. F. A. Meissner, Naturwissenschaftlicher Anzeiger der allgemeinen schweizerischen Gesellschaft für die gesamten Naturwissenschaften, Bern 1818 (1), Nr. 3; Heim, Handbuch etc., S. 61. — [424] E. Richter, S. 438 ff.; Die Hilfsmittel gegen Ausbrüche von Eisseen, M. d. ö. A., 1889, Nr. 24. — [425] E. Richter, Der Gletscherausbruch im Martellthal und seine Wiederkehr, ebenda, 1889, Nr. 19. — [426] Forel, L'avalanche du glacier des Têtes Rousses, Gazette de Lausanne, 18. Juli 1892; A., LXV, S. 558 ff. — [427] Dubarc-Vallot-Delebecque, Sur la catastrophe de St. Gervais, A. s. p. n., (3) XXVIII, S. 177 ff., 460 ff.; C. R., CXV, S. 264 ff.; CXVII, S. 333 ff. — [428] E. Richter, Die Katastrophe von St. Gervais, Gl., LXIII, S. 185 ff. — [429] E. Richter, Die Gletscher der Ostalpen, Stuttgart 1888, S. 184 ff. — [430] Durier, La catastrophe de St. Gervais-les Bains, T. d. M., 31. Dezember 1892. — [431] E. Richter, Die Katastrophe etc., S. 190. — [432] Finsterwalder, Der Vernagtferner etc., S. 71. — [433] Toula, Die Katastrophe von St. Gervais, Wien 1893 (S. V. V. n. K.), XXXIII, S. 473 ff. — [434] Greim, Der Ausbruch des Schwemserferners, Gl., LXIV, S. 187 ff. — [435] B. Schwalbe, Ueber Eishöhlen und Eislöcher, nebst einigen Bemerkungen über Ventarolen und niedrige Bodentemperaturen, Berlin 1886 (Festschrift des Dorotheenstädtischen Realgymnasiums); Uebersichtliche Zusammenstellung litterarischer Notizen über Eishöhlen und Eislöcher, nebst einigen Zusätzen, M. S. H. Oe. T. C., 1887, Nr. 2—3. — [436] Scheuchzer, Stoicheiologia ad Helvetiam applicata, Zürich 1700; R. Wolf, I, S. 189. — [437] Ebenda, S. 193. — [438] G. P. W., V, 1, S. 418 ff. — [439] G. F. Parrot, Grundriss der Physik der Erde und Geologie, Riga-Leipzig 1815, S. 98 ff. — [440] Fugger, Der Untersberg; wissenschaftliche Beobachtungen und Studien, Z. d. ö. A., XI, S. 170 ff. — [441] Ebenda, S. 173. — [442] Church, The Heat of the Comstock Locke, A. J. S., (3) XVII, S. 289 ff.; Stapff, Gesteinstemperaturbeobachtungen im Formanschachte, Z. ö. G. M., XVI, S. 410 ff. — [443] Schwalbe, Bemerkungen über Eishöhlen und Windlöcher, V. p. G. B., 1883, Nr. 14, 66, 68; Windlöcher und niedrige Bodentemperatur, ebenda, 1885, Nr. 15. — [444] Fugger, a. a. O., S. 176. — [445] Schwalbe, Lokale Verbreitung der Eishöhen, C. J. R., 1884, S. 16 ff. — [446] Schwalbe, Uebers. Zusammenstellung etc., S. 33 ff. — [447] Jarz, Die Frainer Eisleite, P. G. M., XXVIII, S. 170 ff. — [448] A. Roth, Ueber die Eishöhlen bei Frain in Mähren, Znaim 1863. — [449] Fugger, a. a. O., S. 195 ff. — [450] Fugger, Eishöhlen und Windröhren, I, Salzburg 1891. — [451] E. Richter, Zur Frage über die Entstehung der Eishöhlen, P. G. M., XXII, S. 316 ff. — [452] Fugger, Ueber Eishöhlen, ebenda, XXIX, S. 16 ff.; Beobachtungen in den Eishöhlen des Untersberges, Salzburg 1887 (M. G. S. L., XXVIII); Eishöhlen und Windröhren, II, III, 1892—93. — [453] H. Cramer, Eishöhlen- und Windröhren-Studien, Wien 1899. — [454] F. Kraus, Höhlenkunde, Wien 1894, S. 207 ff. — [455] Schwalbe,

Lok. Verbr. etc., S. 68. — [456] Fugger, Eishöhlen etc., I, S. 45. — [457] A. Pictet, On the Ice-Caves or Natural Ice Houses in some of the Caverns of the Jura and the Alps, E. P. J., 1823, Nr. 15. — [458] Fugger, ebenda, S. 48. — [459] A. Kircher, Mundus subterraneus, in quo universae naturae majestas et divitiae demonstrantur, Amsterdam 1664, S. 120, 239. — [460] Krenner, Die Eishöhle von Dobschau, Budapest 1874; Pelech, Das Stracenaer Thal und die Dobschauer Eishöhle, Iglau 1878; Lowe, The Ice Caverne of Dobschau, N., XX, S. 151 ff.; Krieg, Ueber die Dobschauer Eishöhle, Hirschberg 1883; G. P. W., V, 1, S. 417; Umlauft, Die österreichisch-ungarische Monarchie, Wien 1876, S. 199 ff. — [461] Fugger, Eishöhlen etc., I, S. 52. — [462] Schwalbe, a. a. O., S. 37. — [463] A. Pictet, Remarkable Formation of Ice, E. P. J., 1822, S. 190 ff. — [464] Lohmann, Das Höhleneis unter besonderer Berücksichtigung einiger Eishöhlen des Erzgebirges, Jena 1895, S. 1 ff. — [465] Fugger, a. a. O., S. 63 ff. — [466] Kittara, Die Eishöhle von Kungur, A. K. R., VIII, S. 75 ff. — [467] Fugger, S. 66 ff., 69 ff. — [468] v. Buch, Physikalische Beschreibung der Canarischen Inseln, Berlin 1824, S. 10 ff.; v. Humboldt, Werke, V (Reise in die Aequinoctialgegenden des Neuen Kontinentes), S. 80 ff. — [469] Hann-v. Hochstetter-Pokorny, a. a. O., S. 435. — [470] Supan, Grundzüge der physischen Erdkunde, Leipzig 1896, S. 357. — [471] Schtschukin, Die Balaganer Höhle im Irkutsker Gouvernement, A. K. R., VIII, S. 141 ff. — [472] Lohmann, a. a. O., S. 17 ff. — [473] Hering, eine Krystalleisgrotte, Z. Kr. M., XIV, S. 250 ff. — [474] Fugger, Beobachtungen etc., S. 20 ff. — [475] Ebenda, S. 19. — [476] Browne, Ice Caves in France and Switzerland, London 1865; On Ice-Caves, Gl. M., 1865, S. 85 ff.; Prismatic Formation of Ice in cetrain Ice Caves, R. B. A., Ab. 1868, S. 24. — [477] Fugger, a. a. O., S. 39 ff. — [478] Schwalbe, S. 16. — [479] Lohmann, S. 27 ff. — [480] Bertin, Sur la structure optique de la glace, A. Ch., 1878, S. 283 ff. — [481] Thury, Études sur les glacières naturelles, A. s. p. n., 1861, S. 97 ff. — [482] Petzold, Beiträge zur Geognosie von Tirol, Leipzig 1843. — [483] H. Schlagintweit, Ueber die physikalischen Eigenschaften des Eises und deren Zusammenhang mit den vorzüglichsten Phänomenen der Gletscher, A. P. C., LXXX, S. 177 ff. — [484] G. P. W., III, S. 151 ff. — [485] Deluc, Des glacières naturelles et de la cause qui forme la glace dans ces cavités, A. P. C., XXI, S. 113 ff. — [486] J. Herschel, On some Phenomena observed on Glaciers, P. M., 1842, S. 362 ff. — [487] Hope, Observations on the Contraction of Water by Heat, at low Temperatures, T. E. S., V, S. 379 ff. — [488] Mousson, Einige Thatsachen betreffend das Schmelzen und Gefrieren des Wassers, A. P. C., CV, S. 161 ff. — [489] L. Dufour, Ueber das Sieden des Wassers und über Hagelbildung, ebenda, CXIV, S. 530 ff. — [490] F. Meissner, Ueber die beim Benetzen pulverförmiger Körper auftretende Wärmetönung, Leipzig 1886, S. 20. — [491] Schwalbe, Beitrag zur Frage über die Entstehung der Eishöhlen, M. S. H. Oe. T. C., 1883, Nr. 2. — [492] Lohmann, S. 13 ff. — [493] Fugger, S. 92 ff. — [494] Cramer, a. a. O., I, §. 7. — [495] Ebenda, I, §. 10. — [496] Ebenda, S. 52 ff. — [497] Heim, Handbuch etc., S. 484. — [498] v. Ditmar, Reisen und Aufenthalt in Kamtschatka 1851—1855, I, St. Petersburg 1890, S. 66 ff. — [499] Dall, Alaska-Forschungen im Sommer 1880, P. G. M., XXVII, S. 46 ff.; Note on Alaska and de Vicinity of Bering Strait, A. J. S., XXI, S. 104 ff. — [500] v. Toll, Forschungen im nordöstlichen Sibirien, V. 11, G. T. (1891), S. 53 ff.; Some Results of an Expedition to the Arctic Sibiria, G. Jl., V, S. 373 ff. — [501] Penck, Die Geschiebeformation Norddeutschlands, Z. d. G. G., XXXI, S. 134. — [502] Baron Tolls Reise in der Lenagegend, Gl., LXVII, S. 290. — [503] Nansen, In Nacht und Eis, I, Leipzig 1897, S. 158 ff. — [504] Tarr, a. a. O., S. 149. — [505] Kobelt, Die Erforschung des Mount Elias, Gl., LXVII, S. 377 ff. — [506] Hayes-Martin, S. 115. — [507] A. E. v. Nordenskiöld, Grönland, seine Eiswüsten im Inneren und seine Ostküste, Leipzig 1886, S. 113 ff. — [508] Kjellman, Svenska polar-expeditionen, 1872—73, Stockholm 1875. — [509] v. Nordenskiöld, a. a. O., S. 149 ff. — [510] Ebenda, S. 168 ff. — [511] Ebenda, S. 209 ff. — [512] Nansen, Auf Schneeschuhen durch Grönland, Hamburg 1890—91. — [513] Rink, Die neueren dänischen Untersuchungen in Grönland, P. G. M., XXX, S. 41 ff.; XXXIII, S. 143 ff.; XXXIV, S. 67 ff. — [514] Mohn-Nansen, Wissenschaftliche Ergebnisse von Dr. F. Nansens Durchquerung von Grönland, P. G. M., E. H. Nr. 105, S. 68 ff. — [515] v. Drygalski, Vorexpedition nach Westgrönland, V. G. E. B., XVIII, S. 403 ff., 445 ff.; XX, S. 270 ff., 421 ff. — [516] Grönland-Expedition der Gesellschaft für Erdkunde zu Berlin 1891—1893 unter Leitung von E. v. Drygalski, Berlin 1897. — [517] Mohn-Nansen, a. a. O., S. 73. — [518] Ebenda, S. 85. — [519] v. Nordenskiöld, S. 188 ff. — [520] Ebenda, S. 137. — [521] Günther, Probleme aus der physikalischen Geographie der Polarwelt, N. O., XXX, S. 257 ff. — [522] v. Nordenskiöld, S. 144 ff. — [523] Grönl.-Exped. etc., I, S. 75 ff. — [524] v. Nordenskiöld, S. 197 ff. — [525] Mohn-Nansen, S. 89. — [526] Grönl.-Exped., I, S. 93 ff. — [527] v. Nordenskiöld, Studien und Forschungen, veranlasst durch meine Reisen im hohen Norden, Leipzig 1885, S. 65 ff., S. 112 ff. — [528] W. Kaiser, Die Flora des Schnees und Eises, G., XX, S. 275 ff. — [529] v. Nordenskiöld, a. a. O., S. 97. — [530] v. Nordenskiöld, Grönland etc., S. 192. — [531] v. Nordenskiöld, Studien etc., S. 112 ff. — [532] C. Vogt, Note sur les animalcules de la neige rouge, B. U. G., (2) XXXII, S. 381 ff. — [533] Grönl.-Exped., II, S. 142. — [534] R. Pictet, De l'emploi méthodique des baisses températures en biologie, R. S., LII, Nr. 19. — [535] Welter, Die tiefen Temperaturen, Krefeld 1895, S. 75. — [536] P. Vogel, E. v. Drygalskis Grönland-Expedition, B. A. Z., 1898, Nr. 270; v. Drygalski, Ueber Eisbewegung und Eisbergbildung, ebenda, 1898, Nr. 280. — [537] Rink, Grönland geografisk og statistisk beskrevet, I, Kopenhagen 1852, S. 18 ff. — [538] Grönl.-Exped., I, S. 24. — [539] Altmann, a. a. O., S. 42 ff. — [540] Grönl.-Exped., I, S. 483. — [541] Ebenda, I, S. 504. — [542] Ebenda, I, S. 170 ff. — [543] Ebenda, I, S. 495 ff.; Die Eisbewegung, ihre physikalischen Ursachen und ihre geographischen Wirkungen, P. G. M., XLV, S. 55 ff. — [544] Supan, a. a. O., S. 170 ff. — [545] Greely, Recent Discoveries in Northern Greenland and in Grinnell Land, R. B. A., Tr., 1884, S. 808 ff.

Kapitel IV.

Hydrologie des Süsswassers.

§. 1. **Der Kreislauf des Wassers.** Der atmosphärisch-tellurische Zirkulationsprozess, durch welchen unausgesetzt Wasser aus der Luft zur Erde und wieder von der Erde in die Luft übergeführt wird, hat uns schon wiederholt beschäftigt. Jetzt ist die Zeit gekommen, die Wirkungen dieses Kreislaufes in ihrer besonderen Bedeutung für die Physik des der Erdoberfläche und den obersten Erdschichten angehörigen tropfbar-flüssigen Wassers zu betrachten, soweit dasselbe nicht bereits in der sechsten Abteilung, die vom Meere handelte, Gegenstand der Erörterung gewesen ist. In ebenso gemeinverständlicher wie umfassender Weise verbreitet sich ein Werkchen von Fr. Pfaff [1] über alle hier einzubeziehenden Fragen; ein zweites von Tyndall [2], an sich sehr verdienstlich, verspricht zwar auf dem Titel, ein Gleiches zu thun, verweilt alsdann aber nahezu ausschliesslich beim festen Aggregatzustande des Wassers. Dagegen eignet sich dasjenige von Dove [3] sehr gut zum Studium, und ein Gleiches gilt von den ein sehr stattliches Material verarbeitenden Schriften von Lersch [4], auf welche wir zum öfteren Bezug zu nehmen veranlasst sein werden.

Kaum kann mit wenigen Worten das Wesen des grossen, niemals rastenden Stoffaustausches treffender gekennzeichnet werden, als es in Goethes „Gesang der Geister über den Wassern" geschieht [5]: „Vom Himmel kommt es, zum Himmel steigt es, und wieder nieder zur Erde muss es, ewig wechselnd." Aus dem kondensierten Wasserdampf der Wolke wird Regen oder Schnee, und dieser fällt zur Erde, wo er teils in den Boden eindringt und zur Speisung der Quellen dient, teils in Gletschern, Seen und Flüssen sich eine vorübergehende Unterkunft sucht, während ein dritter Bruchteil des atmosphärischen Wassers durch Verdunstung sofort wieder in den elastisch-flüssigen Zustand zurückkehrt.

An die Spitze unserer Darlegung stellen wir demgemäss die Seen, als die räumlich zumeist in die Augen fallenden Aufbewahrungsstätten des süssen Wassers. Sümpfe und Moore, die ebenfalls das von oben gekommene Wasser aufspeichern und nur unter besonderen Bedingungen abströmen lassen, schliessen sich sofort an. Weiterhin verfolgen wir die Bewegung des unseren Augen verborgenen Grundwassers innerhalb des Bodens und den Wiederaustritt desselben in der Form von Quellen. Von diesen werden Bäche und Flüsse genährt, und ganz von selbst bildet das fliessende Wasser in seinen verschiedenartigen Erscheinungsbildern den Schluss des Kapitels. Natürlich muss, wenn wir von der Hydrologie des Süsswassers sprechen, dieses Wort nicht im Sinne schroffster Konsequenz genommen werden. Sowohl solche Binnenseen, deren Wasser Salzbestandteile in sich schliesst, als auch mineralische Quellen, deren chemische Zusammensetzung also von derjenigen des reinen Wassers mehr oder minder abweicht, werden in unserer Systematik ihre Stelle angewiesen erhalten.

Nachdem die beiden Bestandteile des Wassers schon vorher getrennt dargestellt waren, gelang es Lord Cavendish [6], die Wassersynthese (Zusammensetzung des Wassers aus den Grundstoffen) erstmalig durchzuführeu. In 100 Gewichtsteilen Wasser befinden sich 11,11 Gewichtsteile Wasserstoff und 88,89 Gewichtsteile Sauerstoff; diese Zahlen wurden mit Schärfe zuerst durch Lavoisier ermittelt [7]. Das Raumverhältnis ist, wie Nicholson und Carlisle mittelst des galvanischen Stromes [8] fanden, ein anderes. Lässt man durch ein Gemenge von 2 Volumteilen Wasserstoff und 1 Volumteil Sauerstoff einen Funken schlagen, so bildet sich reines Wasser ohne jeden Rückstand. Chemisch reines Wasser kommt natürlich in der Natur so gut wie niemals vor; es muss erst durch Destillation erhalten werden.

§. 2. **Die Binnenseen in physisch-geographischer Beziehung.** In jeder Wannenlandschaft (S. 701) kann es zur Seenbildung kommen. Das atmosphärische Wasser sammelt sich im abflusslosen Hohlraum an; fliessendes Wasser kann gleichfalls in einem Sammelbecken ein zeitweiliges oder definitives Ende seines Laufes finden. Die Entstehung der Seebecken bleibt hier ausser Betracht; von ihr wird in Kap. V ausführlich die Rede sein (vgl. S. 660). Das Vorhandensein solcher Hohlformen wird als eine Thatsache hingenommen, und lediglich die Eigenschaften des stehenden Wassers interessieren uns gegenwärtig. Kein See ist etwas absolut Dauerndes, vielmehr sind fortgesetzt Kräfte thätig, um entweder sein Becken auszufüllen oder diesem das Wasser zu entziehen. In Wirklichkeit stösst man denn auch oft genug auf Oertlichkeiten, welche deutlich das dereinstige Vorhandensein eines Sees verraten, dessen Wasser verschwunden ist.

Die Ausfüllung einer Wanne, welcher Gewässer zuströmen, kann durch die vom Wasser verfrachteten Denudationsstoffe erfolgen. Was die Entfernung des Wassers anlangt, so ist in den durch starke Lufttrockenheit ausgezeichneten Gegenden an Verdunstung, in manchen Fällen aber auch an Einsickern des Wassers in den durchlässigen Untergrund des Seebeckens zu denken. Zumeist freilich bildet sich ein undurchlässiger Ueberzug längs des Grundes, welcher das Eindringen in tiefere Lagen nicht zulässt und auf mannigfache Art zusammengesetzt sein kann. In Peschels trefflichem Essay „Entwickelungsgeschichte der stehenden Wasser auf der Erde“ lesen wir [9]: „Jeder junge See beginnt damit, sein eigenes Gefäss zu verkitten. Der feine Niederschlag, den ihm Bäche oder Riesel zuführen, und die Schalen von Schnecken und Muscheln überziehen den Boden mit einer Art Glasur aus festem Letten, den man in der Schweiz Seekreide nennt.“ Diese Bezeichnung wurde von Heer [10] allgemeiner bekannt gemacht, und den Prozess selbst schildert Wettstein [11] des näheren. Die Sedimente fallen zu Boden und überziehen den Seegrund mit einer mehr und mehr sich ausebnenden Decke (am Boden-See Schweb genannt) [12]. Anderwärts ist der Name Alm im Gebrauche [13]. Ganz besonders häufig tragen Diatomeenpanzer zur Auskleidung des Grundes von Binnenseen, ebenso wie vom Meere (S. 412) bei; für den Cavazzo-See im Friaul wird dies, um nur ein Beispiel anzuführen, von O. Marinelli [14] ausdrücklich festgestellt.

An Ursachen, welche das Erlöschen eines Sees bewirken können, fehlt es nicht. Die Bedingungen der Ausfüllung durch Flüsse unterzieht v. Richthofen [15] der Prüfung. Der Schotter lagert sich in geneigten Schichten ab, ähnlich, wie man dies an der Trümmerhalde eines Bergwerkes beobachten kann; man kann die Schichtung studieren, wenn ein solches ausgefülltes Seebecken später wieder von einem Flusse erosiv angeschnitten wird. Kräftig vermag auch die Vertorfung zu arbeiten, von der in §. 3 gesprochen werden soll. Das zeigt die lehrreiche Geschichte des Fichtel-Sees auf einem Hochplateau des Fichtelgebirges, die uns v. Gümbel [16] und Alb. Schmidt [17] erzählen. Anschwemmungen machten den See, den Bruschius (um das Jahr 1592) noch als solchen kannte und der 1692 als „ein seltsamer See, ein Sumpf, mit zähem Wasser überzogen“, charakterisiert wurde, nach und nach seichter und gaben zugleich Anlass zur Ansiedelung einer Wasserflora, mit deren Absterben die Torfmoorbildung rasch fortschritt, so dass der ehemalige See bestockt werden konnte. Zahlreiche Fälle des Erlöschens von Seen werden auch von der Hohen Tátra gemeldet [18]. — Ganz natürlich hat recht oft auch der Mensch die Hand im Spiele, wenn Seen geringeren Umfanges der Austrocknung verfallen. Dies gilt z. B. für die Entwässerung der früher überaus wasserreichen Umgegend von Frankfurt a. d. O., wie wenigstens Roedel [19] annimmt. Vier kleine Seen des Magdeburger Gebietes, die jetzt spurlos verschwunden sind, kannte noch in der zweiten Hälfte des XVI. Jahrhunderts der Chronist Torquatus [20]. Historische Lokalforschung wird solche Thatsachen in grosser Menge zu Tage fördern; die Anzahl der in Tirol, seitdem dort eine rudimentäre Kartographie existiert, erloschenen Seen kann wahrscheinlich nach Hunderten bemessen werden.

Doch muss man sich hüten, jede Erscheinung, die vielleicht durch Eintrocknen oder Verdampfen von Wasser erklärt werden kann, ganz allgemein mit solchem Motive in Zusammenhang zu bringen. So galt es lange als feststehende Regel: Salzebenen und Salzsteppen, durch Ausschwitzungen der Salzmaterie unfruchtbar gemacht, sind als Residuen ehemaliger Binnenseen mit salzhaltigem Wasser aufzufassen. Gewiss kann dies der Fall sein, aber eine so gesicherte Norm ist es doch nicht, wie es vielfach angenommen wird. E. H. L. Krause [21] z. B. erklärt, um die zwischen Zoologen und Botanikern bezüglich der Deutung der späteren Epochen des postglazialen Steppenzeitalters (S. 682) obwaltende Meinungsverschiedenheit auszugleichen, die Steppenbildung nicht als generell-europäisches, sondern einfach als lokales Vorkommen; ein Salzsee habe im trockenen Klima sein Wasser eingebüsst, und die Salzbestandteile seien übrig geblieben. Allein Ochsenius zieht aus seinen Studien über Barren- und Salzlagerbildung den beachtenswerten Schluss [22]: „Einfach vom Meere verlassene Gründe werden nie so viel Salzeffloreszenzen zeigen, dass ihnen der Name Salzsteppe zukommt.“ Auch O. Langs Betrachtungen [23] über die Art der Salzniederschläge in untiefen Gewässern sind der hergebrachten Auffassung der Salzflächenbildung nicht günstig, und schon frühere Andeutungen (S. 689) legen die Vermutung nahe: Da, wo Ausblühungen des Salzes zu konstatieren sind, liegt die Erklärung des Vorganges einzig der Bodenkunde ob. Durch die in den abflusslosen Plateauländern angestellten Beobachtungen Hilgards [24] kann die Sache wohl als endgiltig geklärt gelten. Wenn neutrale Salze (Glauber- und Kochsalz), bei überschüssiger Kohlensäure, mit kohlensaurem Kalk in Verbindung treten, entsteht das $1\frac{1}{2}$fach kohlensaure Salz (Trona, Kara, Urao in regionaler Bezeichnung), und wenn dieser Stoff sich unter der Oberfläche befindet, so kann es in niederschlagsarmen Gegenden geschehen, dass die so umgewandelten Salze von unteren Schichten in höhere hinaufgelangen und auswittern. Dergleichen ist nachzuweisen in der nördlichen Sahara, in Aegypten, in Arabien, in der aralokaspischen Steppe, in der Wüste Gobi, im Great Basin zwischen Rocky Mountains und Sierra Nevada und anderwärts. Bewässerung hilft dem Uebel nicht ab, wohl aber gelingt dies der von Hilgard vorgeschlagenen Gipsdüngung. Auch die Prairiebildung, welche wir durch F. Brendel [25] als eine Konsequenz der Bodenbeschaffenheit erkennen lernten, und welche nicht im geringsten durch Waldverwüstung bedingt erscheint, vollzieht sich überall da, wo — statt Humus oder Torf, wie man früher annahm — ein schwarzer, weicher, entsprechend chemisch präparierter Boden den Untergrund darstellt. Solange die Prairie noch der Ueberschwemmung unterliegt, entfaltet sich auf ihr eine zwar niedrige, aber doch üppige Vegetation; sobald aber durch Sedimentabsatz ihr Niveau sich über den Hochflutspiegel der sie in tiefen Erosionsrinnen (S. 700) durchziehenden Flüsse erhebt, tritt progressiv der reine Steppencharakter in sein Recht.

Seen finden sich überall auf der Erde. Von keinem Bezirke kann gesagt werden, er sei an und für sich der Seenbildung ganz und gar unzugänglich, denn auch in Steppen und sogar in Wüsten stösst man auf die vorhin besprochenen Salzseen. Klassifikationen der Seen können mit tieferer Begründung nur in genetischem Sinne gegeben werden, und es bleibt dies also unserem fünften Kapitel vorbehalten. Immerhin lassen sich auch morphographische Unterschiede machen, und insbesondere kann auch a priori schon die Frage zur Besprechung gelangen, ob gewisse Seen als Meeresüberbleibsel (Meeresexklaven; Reliktenseen; von relinquere, verlassen) anzusprechen seien. Eine selbständige Stellung ist der Seenphysik anzuweisen, durch welche uns auch die Mittel zu einer gewissen anderweiten Einteilung der Seen in Gruppen geliefert werden sollen.

Ein wesentlicher morphographischer Unterschied ist gegeben durch den Gegensatz der Flussseen [26] — offenen Seen nach Lombardini [27], Gliederseen nach Schrenk [28] — und der nicht von einem Flusse durchströmten Seen, welche letztere wiederum einen Abfluss haben oder auch — im zentral-kontinentalen Senkungsgebiete (S. 701) ebenso, wie in gewöhnlicher

Wannenlandschaft — abflusslos sein können. Seen der letzteren Art brauchen, wofür Penck [29] verschiedene Belege beibringt, nicht salzhaltig zu sein, weil der Zustand der Abgeschlossenheit nicht notwendig ein dauernder ist. Auch der wechselnde Wasserstand kann bewirken, dass ein Wasserbecken zeitweise in einen stetigen Wasserlauf eingeschaltet oder aus demselben wieder entfernt wird; deshalb nennt Sieger [30] die vom atmosphärischen Feuchtigkeitszustande in ihrer Spiegelhöhe regulierten Seen dieser Art Niederschlagsseen (Nyassa-, Tanganjika-, Neusiedler-, Tacarigua-See in Venezuela). Freilich kann die Schwankung des Niveaus auch in ganz anderen Verhältnissen ihren Grund haben, so vor allem in der Entwässerung durch unsichtbare Kanäle, wie wir dies in dem die Karstbildung abhandelnden Abschnitte des fünften Kapitels untersuchen wollen. Können doch nach zahlreichen Angaben, unter denen einstweilen nur diejenigen von Putik [31] und Hassert [32] citiert sein mögen, durch unregelmässige Zufuhr und Abfuhr des Wassers in diesen Röhrennetzen auch gewaltige Inundationen (inundare, überschwemmen) veranlasst werden. F. Kraus legt [33] solchen Karstseen, die bei Hochwasser auch oberirdischen Abfluss haben und in Griechenland sehr häufig sind, den Namen unvollkommene Seen bei. — Vielfach ist der letzte Grund des alternierenden Wasserstandes von Binnenseen nicht ganz geklärt. Sehr stark tritt nach v. Tillo [34] dieses Phänomen am Ladoga-See hervor, an dessen Oberfläche freilich auch, weil er (s. o.) ein Flussee ist, ein schwaches Gefälle von Ost gegen West unverkennbar ist. Der Neusiedler-See, dessen Abhängigkeit vom Niederschlagsstande oben erörtert ward, hat doch wahrscheinlich auch eine Spaltenableitung, da die vom Grafen Sczechényi [35] nachgewiesenen Wechsel von Austrocknung und Wiederauffüllung wohl kaum allein auf die Klimaschwankungen (S. 330) zurückzuführen sein möchten. Da, wo ein Karstsee durch subterrane Verbindung ins Meer mündet, was freilich nicht so häufig vorkommt, wie es Kircher [36] behauptete, und wie es nach Wisotzkis kritischer Analyse [37] (S. 526) überhaupt eine dogmatische Lehrmeinung des späteren Mittelalters war, kann sich der Einfluss der Gezeiten (S. 458) äussern, oder es können auch Stürme stauend eingreifen; Kraus (s. o.) bemerkt, dass der Wasserlauf, der vom istrischen Cepič-See zum Quarnero führt, durch eindringendes Meerwasser geradezu rückläufig gemacht werde. Der Mogilnoje-See auf der Insel Kildin an der Murmanküste hing früher unverkennbar mit dem Meere zusammen, und auch jetzt noch ist die Loslösung keine ganz vollkommene, weil sich noch immer in dem See Spuren der — allerdings stark verspäteten — Ebbe und Flut des freien Meeres wahrnehmen lassen [38]. Wie es sich mit einem angeblich in Neu-Guinea befindlichen See verhalte, der bei Tage regelmässig sinken, bei Nacht ebenso regelmässig steigen soll [39], muss dahingestellt bleiben.

Unter allen Umständen war Woeikow berechtigt, Flüsse und Seen als Produkte des Klimas zu bezeichnen; seine früheren Untersuchungen über die Niveauverhältnisse des Ladoga-Sees und über die russischen Gewässer überhaupt hatten ihn dazu befähigt [40]. Seine Beispiele lassen sich nach unseren bisherigen Ausführungen durchweg leicht verstehen. Wir verweisen nur weiter noch auf Pencks Darlegungen [41] über die charakteristischen Seen der terrestrischen Trockengebiete und über den Seenreichtum ehemaliger Gletscherterritorien.

Die Lösung der Aufgabe, einen gegebenen See auf seine dereinstige Zugehörigkeit zum Meere zu prüfen, wurde lange Zeit allzusehr unter einem spezifisch biologischen Gesichtspunkte aufgefasst, so dass sich alle jene Bedenken erheben mussten, welche gegen solch einseitiges Vorgehen bei früherer Gelegenheit formuliert wurden (S. 635). So hielt sich Peschel (s. o.) wesentlich nur daran, ob in dem See eine Meeresfauna (Reliktenfauna) nachzuweisen sei, und traf auf deren Existenz oder Nichtexistenz hin seine Entscheidung. Es ist R. Credners [42] unbezweifeltes Verdienst, die geologisch-paläontologische Zusammensetzung der Randgebiete in ihrer wahren Bedeutung für die Gewinnung zuverlässiger Kriterien erfasst zu haben.

Auf Grund zoologischer Erwägungen stellte Peschel die Behauptung auf [43]: „Alle grossen und geräumigen Seen Nordamerikas, am Südabhange der

Alpen, in Schweden und Nordrussland, in Zentralasien und Sibirien sind ozeanischen Ursprunges.“ Zumal der Lago Maggiore, Lago di Como u. s. w. sollten Fjorde des Lombardisch-Adriatischen Meeres einer jungen geologischen Vorzeit sein (S. 607), und der Baikal-See wurde deshalb herangezogen, weil er nach Dybowski Seehunde und Meeresschwämme zu Bewohnern hat; Czerski hält jedoch dafür, dass diese Tiere auf den in der Diluvialperiode weit grösseren Strömen in den See gelangt sein können, denn das Eismeer habe seit Ende der Tertiärzeit keine Grenzverrückung mehr erfahren [44]. Im grossen und ganzen pflegt Reliktenseen kein — im geologischen Sinne — hohes Alter zu eignen. Die in mesozoischer Zeit (S. 679) entstandene oberrheinische Tiefebene war später mit einem Oligozänmeere erfüllt, das sich, wie die fossilen Residuen darthun, nach und nach vom Meere trennte, von den Flüssen ausgesüsst ward, in der Miozänzeit sich in eine echte Meeresexklave verwandelte und schon bald darauf — pliozäne Bildungen fehlen — als See zu existieren aufgehört hatte [45]. Weder für die russischen, noch für die oberitalienischen Seen ist eine quartäre Meeresverbindung, wie solche bezüglich v. Helmersen [46] und Rütimeyer [47] stipuliert hatten, von Credner [48] anerkannt worden. Die angebliche Reliktennatur des Toten Meeres hat Lartet [49] widerlegt, und gegen Neumayrs [50] Wiederauffrischung der Peschelschen Hypothese bezüglich des Baikal-Sees fällt das durchschlagende Argument Dybowskis (s. o.) [51] in die Wagschale, dass die das riesige Becken umschliessenden Schichten aus älterer Zeit nicht unter die paläozoische Aera herabreichen, während allen jüngeren Bildungen ausschliesslich Süsswasser-Facies (S. 677) zuzusprechen ist. Wirkliche Reliktenseen können auf dreierlei Arten entstanden sein [52]: durch Abschnürung oder Abdämmung (toskanische Küstenseen; südrussische Steppenseen; einstmalige Meeressalinen am sizilianischen Faro), durch Landhebung (Korallenlagunen; vgl. S. 651; südschwedische Seen; die Lochs in Schottland; der Lake Champlain im Staate New York) und endlich durch Meeresrückgang (Kaspisches Meer, Aral- und Balkasch-See als Reste des Sarmatischen Meeres, welches sich bereits in der älteren Pliozänzeit in ein pannonisch-siebenbürgisches und in ein pontisch-aralokaspisches Becken [53] zerteilte). Reliktenseen eines umfassenden zentralasiatischen Mittelmeeres, von welchem v. Schwarz [54] unzweifelhafte, wiewohl allzu phantastisch gedeutete Strandlinienspuren (S. 562) auffand, sind v. Richthofen zufolge [55] die salzigen Seen des Tarymbeckens. Gegen diese Ansichten Credners (s. o.) ist von Penck [56] Einspruch erhoben worden, der in sehr ausführlicher Gegenüberhaltung aller integrierenden Momente dem Kaspischen Meere ausdrücklich einen kontinentalen Charakter zuschreibt.

Wenn wir im folgenden über die terrestrischen Seen eine kurze Uebersicht geben, so sehen wir dabei in keiner Weise auf Vollständigkeit, die doch nicht zu erreichen wäre, sondern streben bloss eine gewisse allgemeine Orientierung an. Einer etwas älteren, sehr brauchbaren Zusammenstellung von Kloeden [57] reiht sich eine neuere, mit seltenem Fleisse durchgeführte, von Peucker [58] an, und zu letzterer hat dann wieder Halbfass [59] einige Ergänzungen geliefert. Von De Agostini [60] rührt eine übersichtliche Synopsis der neueren italienischen Seenforschung her, welch letztere sehr stattliche Leistungen aufzuweisen hat.

Unsere eigene Uebersicht leistet von vornherein auf Vollständigkeit Verzicht, sucht aber den Leser in der weitverzweigten Litteratur über lakustre oder limnologische Fragen (lacus = λίμνη, See; daher limnische Formation = Süsswasserbildung) einigermassen heimisch zu machen. Wir beginnen mit Deutschland. Die holsteinischen Seen, welche sich ihm zufolge wesentlich als ausgetretenes Grundwasser darstellen, hat Ule [61] morphographisch untersucht; eben derselbe studierte die glazialgeologisch wichtigen Landseen der baltisch-ostpreussischen Seenplatte [62], für welche auch die genauen Arealbestimmungen Bludaus [63] vorliegen, wohl die exaktesten dieser Art, die man für ein grösseres Territorium besitzt. Speziell der mecklenburgischen Verhältnisse nahm sich F. E. Geinitz [64] an. Mit den mehr vereinzelt auftretenden norddeutschen Seen beschäftigte sich angelegentlich Halbfass [65], indem er den Nachweis erbrachte, dass deren Tiefe meist zu gross angenommen worden war; nur der Arend-See bei Osterburg besitzt die für sein kleines Areal ungewöhnliche Tiefe von 49,5 m [66]. Durch minimale Tiefe sollte sich nach früheren Angaben das sonst einen stattlichen Eindruck hervorbringende Steinhuder-Meer in Niedersachsen auszeichnen, doch ist dies nach Peucker [67] nicht richtig. Von mitteldeutschen Binnenseen sind dann noch die Maare der Eifel (I, S. 399), die

Follmann und Halbfass genau beschreiben [68], die Seen des Buntsandsteingebietes, deren Eigenart Küster [69] zu bestimmen suchte, und das merkwürdige Seenpaar der Goldenen Aue namhaft zu machen; seit alter Zeit unterscheidet man einen süssen und einen salzigen See [70], allein seit in beiden das von Ule [71] geschilderte und im nächsten Kapitel ursächlich zu untersuchende Sinken des Wasserspiegels eintrat, hat sich der erwähnte — auf Salzquellen des Untergrundes zurückzuleitende — Gegensatz mehr und mehr verwischt. Im Südwesten des Deutschen Reiches finden sich Seen im Schwarzwald, deren Erwähnung — Titi- und Mummel-See sind landschaftlich ausgezeichnet — bei Peucker vermisst wird. Ueber die — teilweise allerdings schon zu Frankreich gehörigen — Vogesenseen hat man Tiefenmessungen von Hergesell und Langenbeck [72], physikalische Untersuchungen von Grad [73] und Thoulet [74]. Die Seen des Böhmerwaldes wurden von F. Bayberger [75] und Frejlach [76] studiert. — Ganz besonders haben die Seen der Deutschen Alpen den Forschern zu thun gegeben, unter deren Pionieren F. Simony hervorragt. Die von Penck herausgegebene Biographie [77] des trefflichen Mannes gibt, in Verbindung mit v. Boehms Zusätzen [78], ein klares Bild von dem Verdienste des grossen Alpenkenners, der seine Arbeitskraft hauptsächlich den Salzkammergut-Seen zuwandte [79]. Bei v. Boehm (s. o.) sind auch die älteren Auslotungen oberösterreichischer Seen notiert (von Schmutz, Hinterhuber und Weitmann). Eine für ihre Zeit vorzügliche, jetzt selbstredend in Einzelheiten überholte Abhandlung über die Seen der Deutschen Alpen lieferte A. Geistbeck [80], nachdem er ihr zwei speziellere über die südbayerischen Seen [81] vorausgeschickt hatte. Für letztere sind die allerdings schon einer älteren Epoche angehörigen Beobachtungen v. Jollys [82] noch immer beachtenswert. Monographische Studien seien citiert von F. Pfaff [83] über den Achen-See, von Halbfass [84] über die Seen des Lechgebietes, von Loewl [85] über den Lüner-See (an der Scesaplana), von Fugger [86] über die Salzburger Seen, von Seeland [87] und Grissinger [88] über kärntnerische, von Damian [89] über südtirolische Seen, von E. Bayberger [90] über den Chiem-See, von Schierning [91] über den Zeller-See (im Pinzgau). Für die Ostalpenseen ist eine geradezu mustergültige Grundlage tiefergehender Erforschung gelegt worden durch den auf durchweg neuen Sondierungen beruhenden österreichischen Seen-Atlas, welchen Penck und E. Richter in Verbindung mit mehreren anderen Gelehrten, sowie mit einem erläuternden Texte aus Richters Feder, herausgegeben haben [92]. Der erste Teil umfasst die Seen des Salzkammergutes, zu deren Kenntnis auch eine neuere Arbeit Lorenz v. Liburnaus [93] beiträgt; im zweiten Teile wurden die Seen Innerösterreichs und Welschtirols, den nördlichsten Teil des Garda-Sees mit inbegriffen, beschrieben und im kartographischen Bilde wiedergegeben. — Eine in mancher Beziehung neue Wege beschreitende, in §. 3 ausführlicher zu behandelnde monographische Skizze hat Ule [94] von dem bekannten Starnberger-See gegeben.

Die italienischen Alpenseen sind gleichfalls seit geraumer Zeit Objekt eifriger Anteilnahme seitens der dortigen Geographen gewesen. Schon aus dem XVIII. Jahrhundert ist eine einschlägige Schrift von Morozzo [95] vorhanden, und ihm folgten im XIX. zuerst Gentilli [96] und Gastaldi [97]. Was im Beginne der achtziger Jahre an genauen bathometrischen Angaben vorhanden war, sammelte G. Marinelli [98]. Später folgte eine reiche Serie von Einzelstudien von O. Marinelli [99], meistenteils karnisch-friaulische, teilweise aber auch lombardische und sizilianische Wasserbecken behandelnd; erwähnt wurde bereits (S. 769) der Arbeit über den Cavazzo-See, des grössten Binnensees des Furlanerlandes [100]. Neben Marinelli ist als der eifrigste Limnologe De Agostini zu bezeichnen, der sein Augenmerk zuerst auf die piemontesischen, später aber mehr auf die der Umgebung Roms angehörigen Seen gelenkt hat [101]. Den in der Campagna neu entstandenen See von Leprignano behandeln De Vescovi [102] und Folgheraiter [103]. Auch Ausländer befassten sich mit italienischen Seen, so Forel [104] und Hassert [105].

Von den Schweizer Seen steht der Genfer-See weitaus im Vordergrunde des Interesses, und zwar seit zweihundert Jahren (I, S. 22). Die so erfolgreiche Wirksamkeit Forels gruppiert sich fast ganz um diesen See, von dem wir deshalb auch in geophysikalischer Hinsicht besser denn von irgend einem anderen unterrichtet sind. Forels zweibändiges Werk [106] ist eine wahre Fundgrube für

den Seenforscher (vgl. S. 457 ff.). Morphometrische Methoden wandte Halbfass [107] auf den Leman an. Teilweise durch schweizerische, teilweise durch deutsche Gelehrte — Forel, Graf Zeppelin, Penck, Sieger — ist auch der Boden-See gründlichst durchforscht worden, wie sich im nächsten Paragraphen zeigen wird. Zum Teile nach Steck, zum Teile auch nach den Veröffentlichungen des schweizerischen topographischen Bureaus [108] teilt Penck [109] eine Anzahl morphographischer Daten über helvetische Seen mit.

Die französischen Seen sind der wissenschaftlichen Welt näher gerückt worden durch das ausgezeichnete Werk Delebecques [110], dessen Hauptinhalt von Halbfass [111] exzerpiert wurde. Wir werden später mehrfach darauf zurückzukommen haben. Mehr rein geologischen Charakters sind Boules [112] Untersuchungen über die vulkanischen Seen des Zentralplateaus (I, S. 396). — Die Pyrenäische Halbinsel ist bekanntlich seenarm; nur die Strandseen kommen häufiger vor und bieten, wie Reins Darlegung [113] zeigt, auch manche interessante Momente dar. — Für die irischen Loughs (keltisches Wort für See) verweisen wir auf Hull [114], für die schottischen Lochs (ebenso) auf A. Geikie [115] und Ramsay [116]; diesen selbständigen Schriften sind dann noch Murrays [117] Spezialuntersuchungen hinzuzufügen. — Die Gebirgsseen Norwegens beschreibt Helland [118]. Wer die metrischen und physikalischen Verhältnisse der schwedischen Seen, unter denen Wenern, Wettern und Mälaren — 5568, 1900 und 1163 qkm nach Nielsen [119] — wahren Binnenmeeren gleichzuachten sind, genau erkennen lernen will, ist auf Siegers [120] Untersuchungen (S. 560) über skandinavische Wasserstandsschwankungen zu verweisen. Ueberaus seenreich ist Finnland, wo Ruwesi- und Saima-See, letzterer wohl der vielgestaltigste und am meisten zerfaserte unter allen tellurischen Seen — grosse Flächen bedecken [121], und ein Gleiches gilt für Nordrussland, welches im Ladoga- und Onega-See (vgl. S. 771) die grössten binnenländischen Wasseransammlungen Europas aufweist. Woeikow hat [122] die physisch-klimatische Bedeutung dieser Seen besprochen. Die Zusammensetzung und Tiefe des Wassers in dem grossen, aber seichten Peipus-See haben neuerdings Schindler und v. Sengbusch zum Gegenstande der Forschung gemacht [123]; ältere Litteratur über ihn citiert Petri [124]. Die südrussischen Steppenseen sind durchweg salzig und werden deshalb erst im nächsten Paragraphen in Betracht gezogen. Von den ungarischen Seen ist des Neusiedler-Sees (S. 771) und des Platten-Sees (Balaton), dessen Erforschung sich die ungarische Geographische Gesellschaft mit hingebendem Eifer widmet, bereits gedacht worden. Die Tátra-Seen, deren einzelne den Namen Meeraugen führen, haben (S. 769) in Grissinger ihren Monographen gefunden. Auf der Balkanhalbinsel spielen Karstseen mit teilweise unterirdischem Abflusse eine Hauptrolle. Der Abfluss erfolgt, wie Oberhummer [125] z. B. am See von Lapista feststellen konnte, keineswegs stürmisch, sondern es ist ein langsames Versinken im Boden zu bemerken, welches nur durch das Verschwinden kleiner Schwimmkörper ins Auge fällt. Mit Rücksicht darauf, dass das Netz der Entwässerungsröhren bald geöffnet, bald verstopft ist, kann der Umstand nicht wunder nehmen, dass der Wasserstand ein wechselnder, die Versumpfung meist eine ausgedehnte ist. Dies ist die durchgängige Signatur der Katabothrenseen [126] (Kathabothron oder Katavothron ist bei den Neugriechen an die Stelle des klassischen Wortes βάραϑρον für Abzugsrohr getreten); besonders eingehend schildert dieses Wechselspiel des Zuganges und der Entwässerung Philippson [127] mit Rücksicht auf den böotischen Kopais-See, der freilich jetzt, nachdem ihm ein französisches Konsortium 25000 ha fruchtbaren Bodens durch Austrocknung abgewonnen hat, kaum noch als See gelten kann. Die peloponnesischen Katabothrenseen sind uns gleichfalls durch Philippson [128] näher bekannt geworden. Am mannigfaltigsten jedoch offenbart sich das Phänomen der Karst- oder Katabothrenseen — wir nehmen Philippsons Gleichsetzung dieser Begriffe an — in den kroatisch-krainischen Ländern, im Karst im engeren Wortsinne. Existiert doch über den Zirknitzer-See, der uns im nächsten Kapitel beschäftigen wird, geradezu eine umfängliche Litteratur [129]. Nur ausnahmsweise begegnet man Seen, die den Gebirgsseen anderer Länder gleichen; dahin gehören vorzugsweise die durch landschaftliche Reize ausgezeichneten, sozusagen erst in unseren Tagen entdeckten Plitwitzer Seen im südwestlichen Kroatien, welche jetzt, nachdem sie durch die Mitteilungen v. Buchwalds [130] und Umlaufts [131] dem grösseren Publikum zugänglicher geworden sind, eine starke Anziehungskraft auf die Touristenwelt ausüben.

Von den nichteuropäischen Seen entfällt ein sehr grosser Teil auf die subtropische Zone, deren habituelle Trockenheit (S. 298) es bewirkt, dass dort Süsswasserseen nur selten, Salz- und Bitterseen zumeist angetroffen werden. Der grösste reine Süsswassersee Asiens ist der — neuerdings durch die Arbeiten der russischen Pazifikbahn stark in den Vordergrund getretene — Baikal-See, von dem wir bereits erfuhren (S. 772), dass er kein Reliktensee ist. Nächst kanadischer Gruppe und Kaspi ist er, mit einem Areale von 30180 qkm, der grösste, nichtsalzige Binnensee der Erde; seine Tiefe beträgt nach Drishenkos Messungen im Maximum 1430 m [132]. Auch in China und Hinterindien gibt es grosse, jedoch noch wenig erforschte Seen; nicht minder birgt der Himálaya zahlreiche echte Gebirgsseen. Auffallenderweise sind in dem echt subtropischen Palästina die beiden oberen Jordanseen, Meerom und Genezareth (See von Tiberias), von süssem Wasser erfüllt; den letztgenannten hielt man früher allgemein für weit tiefer, als er wirklich ist, denn Barrois lotete höchstens 50 m [133]. — Die afrikanischen Seen sind der wissenschaftlichen Forschung begreiflicherweise nur sehr wenig unterstellt worden. Die Untersuchungen Siegers [134] über die Wasserstandsoszillationen der ostafrikanischen Seen orientieren zur Zeit am besten über dahin gerichtete Fragen. Gegenwärtig ist ihr Spiegel wieder im Sinken begriffen, wie denn nach den Berichten von Reisenden, vornehmlich von Langheld, der Leopold-See fast vollständig ausgetrocknet sein soll [135]. — Unermesslich viele Seen sind über den Norden und Nordwesten Nordamerikas verstreut; darunter wahre Riesen, wie Oberer-, Huron-, Michigan-Erie- und Ontario-See, welche, als die fünf kanadischen Seen zusammengefasst

Fig. 156.



(83308 + 61104 + 61660 + 24492 + 19645 =) 250209 qkm überlagern. Ehedem waren sie, wie wir anlässlich der Lehre von den Klimaveränderungen (S. 325) konstatierten, noch beträchtlich grösser. Der Lake Warren, wie Lawson [136] den Ursee zu nennen vorschlug, dessen stattliche Reste uns erhalten blieben, entwässerte sich teilweise nach Norden. Weiter westlich hat Petitot [137] das Seenterritorium aufgeklärt. — Mittelamerika besitzt im Nicaragua- (8500 qkm) und Managua-See zwei wichtige Süsswasserbehälter; in Südamerika hat man sich bisher fast allein mit dem Tacarigua-See in Venezuela und mit den grossen Seen der peruanischen Hochregion (Puna) zu beschäftigen Veranlassung gehabt. Den erstgenannten, den er See von Valencia nennt, hat A. v. Humboldt [138] auf seine stark variierenden Niveauverhältnisse geprüft. Der historisch interessante Titicaca-See, durch den Desaguadero mit dem tiefer gelegenen Aullagas-See verbunden, ist zwar noch immer über 8000 qkm gross, nimmt aber, wie ältere und rezente Strandlinien (S. 562) bekunden, unaufhaltsam ab, so dass, insofern seine Tiefe eine stark wechselnde und die Unterbrechung des gleichmässigen Verlaufes des Seegrundes durch Schwellen eine häufige ist, nach Nusser-Asport [139] ein Zerfallen des Sees in verschiedene kleinere Becken von einer nicht sehr fernen Zukunft erwartet werden muss.

Die Tiefe von Binnenseen wird im wesentlichen ganz nach denselben Grundsätzen bestimmt, welche (vgl. Abt. VI, Kap. II, §. 2) für die Sondierung seichterer Meeresteile gelten. Nur sehr selten tritt ausser Kraft der Erfahrungssatz: Grosse Seen sind tiefer als kleine. Unter der Voraussetzung, dass die Böschungsverhältnisse sich gleich bleiben, dass also die Vertikalprofile der Wannen ungefähr geometrisch ähnliche Figuren sind, geht die Notwendigkeit, dass es sich so verhalte, ohne weiteres aus Fig. 156 hervor. Metrische Beziehungen zwischen Hauptabmessungen des Seebeckens suchte Geistbeck [140] auf; bezeichnet man die Grösse der Oberfläche mit F, die grösste Tiefe mit t, so kann der Bruch ($\sqrt{F} : t$) als Vergleichszahl gute Dienste leisten. Wegen anderweiter morphometrischer Masszahlen sind die Angaben Pencks [141], der sie auf den Boden-See anwandte, und die-

jenigen E. Ritters [142], der den Langen-See morphometrisch behandelte, nachzusehen. Die Profilkurve wird im allgemeinen als eine parabolische Linie anzunehmen sein.

§. 3. **Physik und Chemie der Binnenseen.** Zwischen dem Inhalte dieses Paragraphen und demjenigen des III. Kapitels unserer sechsten Abteilung kann keine tiefgehende Verschiedenheit bestehen, und dieser Umstand ermöglicht uns auch eine kürzere Fassung des Abschnittes. Farbe, Durchsichtigkeit, Temperatur und chemische Zusammensetzung des Wassers sind schon am genannten Orte Gegenstand der Erörterung gewesen, und der Umstand, dass das Wasser sehr vieler Binnenseen des Salzgehaltes ganz oder doch fast ganz entbehrt, bringt namhafte Aenderungen im allgemeinen nicht zuwege. Nur hinsichtlich der Wärmeverteilung haben wir von fast ganz neuen Thatsachen Akt zu nehmen. Was die Bewegung anbelangt, so ist auch diese Frage mehr nur eine sekundäre, weil die weitaus wichtigste Bewegungsform, diejenige der rhythmischen Schwingung, schon in der Meereskunde (S. 457) vorweggenommen werden musste. Ueber die Gesamtaufgabe der modernen Seenforschung hat sich Ule [143] in der „Zeitschrift für Gewässerkunde" ausgesprochen, welche unter Gravelius' Leitung steht und zunächst zwar die Physik des strömenden Wassers zu fördern bestimmt ist, daneben aber auch diejenige des stehenden nicht vernachlässigt.

Was früher (S. 384 ff.) über Farbe und Transparenz des Wassers gesagt worden ist, bleibt voll erhalten; doch sind einige Nachtragsbemerkungen geboten. Von Spring [144] sind besondere Untersuchungen über den Einfluss suspendierter Partikeln auf das reine Blau des Wassers angestellt worden, die insbesondere die Bedeutung des Hämatits (Blutsteines; einer Abart des Roteisensteines) für die Wasserfärbung klarstellten. Da sich kleine, oft nur mikroskopische Körner solchen Eisenglanzes fast in allen Erdarten finden, und da etwas Erde durchweg im natürlichen Wasser aufgelöst ist, so ist fast stets eine Ursache gegeben, jenes zu trüben und seine Grundfarbe, blau, minder deutlich hervortreten zu lassen. Das Spektrum des reinen Wassers ist von H. Vogel [145], Soret-Sarasin [146] und Boas [147] studiert worden, und alle diese Forscher stimmen überein in der Erklärung: Rot und Gelb machen sich so gut wie gar nicht geltend, Grün ist hell, Blau voll erhalten; über Violett lässt sich Bestimmtes nicht aussagen. Spring hat [148] das Spektrum des Wassers mit dem des Alkohols verglichen und sich überzeugt, dass, wenn auch der Durchsichtigkeitsgrad einer Flüssigkeit von deren chemischer Zusammensetzung zunächst nicht beeinflusst erscheint, doch immerhin die Länge des Spektrums durch den Wechsel der ersteren selbst eine Aenderung erleidet. Hinsichtlich der Doppelrolle, welche (S. 384) nach Abegg [149] die selektive Absorption und die Reflexion an suspendierten Körperchen zu spielen haben, um sowohl das Blau des Wassers, als auch dasjenige des Himmels hervorzubringen (S. 101), hat sich neuerdings ebenfalls Spring [150] geäussert, indem er die Bedeutung des zweiten Faktors als eine, wenn überhaupt vorhanden, doch nur minimale bezeichnete. In erneuter Prüfung dieser Einsprache kommt Abegg [151] zu folgendem Schlussurteile: „Ich bin der Ansicht und glaube dies genügend begründet zu haben, dass man für die Erklärung des Himmelsblaus unbedingt an der Rayleighschen Theorie der Lichtreflexion an sehr kleinen Teilchen festhalten muss, die gleichzeitig das Phänomen des Abendrots umfasst. Und da diese Theorie exakt bewiesen ist, so bestehe ich ... auf der zuerst von Soret ausgesprochenen Ansicht, dass in der Farbe des Wassers — ausser der von Davy bis Spring vielfach sichergestellten Absorptionsfarbe — notwendig auch eine Reflexionsfarbe enthalten ist."

Springs Ergebnisse (s. o.) hinsichtlich des häufigen Vorkommens von trübenden Eisenteilchen fanden eine Bestätigung durch Ules [152] Untersuchung des grün-

lichen Wassers des Würm-Sees. Der Farbegrad liegt hier zwischen Abschnitt 8 und 12 der Forel-Uleschen Skale (S. 385). Der See liegt in Moorgrund und wird durch verschiedene Moorbäche gespeist, und die Humussäuren, welche sich dem Wasser beimengen, lösen das im Boden befindliche Eisen auf. Wenn bei der Zusammenstellung von Seefärbungen, wie sie Wallmann [153] für die Alpen gegeben hat, die Kolorationsstufe Braungrün erscheint, darf man stets an die Nachbarschaft von Sümpfen und Mooren denken. Es kommt noch dazu, dass das Wasser, welches aus Moor- und Torfflächen stammt, an sich schon reich an organischen Bestandteilen ist. Schwager, der diesen Beimengungen besondere Aufmerksamkeit zuwendete, bemerkt [154], dass jede vom Normalen abweichende Wasserfärbung nur in engem Zusammenhange mit dem Studium der niederen Flora und Fauna der Umgebung erforscht werden könne. Die durch ihre tiefblaue Farbe berühmtesten Alpenseen — als solche nennt unser Gewährsmann [155] den Christel-See im Algäu, die Blaue Gumpe im Wettersteingebirge und die Blaue Lake im Steinernen Meer — haben Becken, die in reinem Fels ausgehöhlt sind und ausschliesslich von Quellwasser gefüllt werden, so dass gar kein Grund zur Mischung des Seewassers mit Verwesungs- und Zersetzungsstoffen vorliegt. — Wir sprechen hier natürlich nicht von organischen Stoffen, die in makroskopischer Form und in dichten Aggregaten vorkommen. Dass in solchem Falle die ursprüngliche Färbung eine starke Modifikation erfährt, kann nicht wunder nehmen. Im Juni und Juli bringt z. B. nach Forel [156] eine massenhaft auftretende Alge (Pandorina morum) in einigen Buchten des Genfer-Sees eine grüne Färbung zuwege. Aehnlich vermochte Harz [157] die auffällige Trübung des Wassers im Schlier-See verständlich zu machen, welche man dort im Frühling 1886 beobachtete. Je nach der Beleuchtung erschien die Oberfläche gelbrot, rötlich und selbst blutrot gefärbt. Die Algen des Sees wurden von einer Spaltpilzkrankheit befallen, lösten sich vom Untergrunde los und wurden durch aufsteigende Strömungen allmählich nach oben befördert und über die Seefläche verteilt.

Unter diesem Gesichtspunkte ist auch das Seen-Plankton (S. 391), welches namentlich durch Zacharias und Lampert [158] — ersterer ist Direktor der biologischen Station am Plöner-See — als ein sehr beachtenswertes Untersuchungsobjekt erkannt wurde, für die Seenphysik wichtig. In norwegischen Binnenseen wurde ermittelt [159], dass gleichmässige Tiefenverhältnisse und geringer Zufluss die gleichmässige Verteilung des Planktons fördern. Flache Buchten sind weit reichlicher als die tieferen Teile damit bedacht, und Hochlandseen zeichnen sich vor den Seen des Flachlandes durch den Reichtum mikroskopischer Lebewesen aus. In der Zeit von Ende Juni bis Anfang August pflegt man am meisten, im Januar und Februar am wenigsten Plankton vorzufinden. Vielleicht, ja wahrscheinlich ist dieses Moment von Einfluss auf die unglaublich mannigfaltige Färbung der Tátra-Seen (S. 771), denn unter diesen sind nach S. Roth [160] fünf grün, vier schwarz, zwei blau, zwei rot, einer gelb und einer weiss.

Neben Färbung und Durchsichtigkeit hat K. F. Schimper [161] auch den Glanz der Gewässer als ein selbständiges Problem bezeichnet. Diese Eigenschaft ist aber wohl nichts anderes als die Reflexfähigkeit, und diese ist von der Ruhe, resp. dem Bewegungszustande des betreffenden Gewässers, von der Reinheit seiner Oberfläche, vom Stande der Sonne und vom Bewölkungsgrade (S. 29) abhängig. Man hat es folglich mit einer sehr zusammengesetzten Erscheinung zu thun.

Die Temperaturverteilung in Seen regelt sich teilweise nach Gesetzen, welche für das tiefere Meer (Abt. V, Kap. II, §. 5) nicht zutreffend sind. Diese Gesetze hat man erst in neuester Zeit gefunden, nachdem durch Forel [162] die Methoden, nach welchen die thermisch-lakustre Forschung zu verfahren hat, eine treffliche Darstellung gefunden hatten. Vor allem bedarf ein Punkt besonderer Würdigung. Während die Abnahme der Temperatur mit der Tiefe sowohl nahe der Oberfläche als auch in grösserer Entfernung von dieser angenähert stetig erfolgt, begegnet man in den allermeisten Seen, wenn eine gewisse Tiefe erreicht ist, der sogenannten Sprungschicht, deren Ort nicht durchweg der gleiche ist und anscheinend der Einwirkung mehrerer,

in ihrem Zusammenwirken noch nicht hinlänglich erforschter Umstände unterliegt.

Ebenso, wie beim Meere, äussert sich die direkte Insolation kalorisch nur in einer sehr wenig mächtigen Schicht; nach Grissingers [163] Beobachtungen hörte beim Weissen-See (S. 773) im September die Sonnenwirkung bereits bei 12 m Tiefe auf. Dann beginnt die Temperaturabnahme, welche während des Sommers für die ungeheure Mehrzahl aller Binnenseen und während des Winters auch für die tiefer gelegenen Seen überhaupt das Wesen der regelmässigen Wärmeschichtung bestimmt; bei den tieferen Hochgebirgsseen tritt dagegen stets in der kalten Jahreszeit die umgekehrte Wärmeschichtung ein, welche in ihrer Art der früher (S. 280) betrachteten Temperaturumkehr in der Atmosphäre entspricht. Damit ist für Forel, dem wir auch diese geschickt gewählten Namen verdanken, das Kennzeichen für seine kalorische Seenklassifikation gegeben [164]. Der tropische Typus hat jahraus jahrein die regelmässige, der polare Typus ebenso stets die umgekehrte Temperaturschichtung, wogegen der gemässigte Typus im Sommer durch die erstgenannte, im Winter durch die zweitgenannte Art der Wärmeverteilung charakterisiert wird. Bei sehr seichten Seen wird keiner dieser Typen sich scharf ausprägen können. Der grösseren Tiefe entspricht beim polaren und gemässigten Typus, hier freilich nur im Winter, eine konstante Temperatur von $+4^{0}$, dem Dichtemaximum des Süsswassers (S. 419) konform. Einmündende Quellen und chemische Prozesse erhöhen die eigentliche Bodentemperatur in vielen Fällen um einen geringen Betrag.

Ausnahmen von der Regel, dass die Sommertemperatur der Alpenseen bis hin zum Grunde abnimmt, sind selten. Einen beachtenswerten Fall dieser Art konstatiert Delebecque, der ermittelte [165], dass in dem bis zu 100 m absinkenden See de la Girotte (Haute Savoie) die Temperaturminderung schon bei 25 m Tiefe ihr Ende erreicht, um dann — im Mittel von $4{,}5^{0}$ ab — bis auf 7^{0} am Boden zu steigen. Mutmasslich liegt die Ursache der Anomalie darin, dass (vgl. S. 437) die tieferen Regionen des Sees stark mit Schwefelwasserstoff erfüllt sind, der durch die Berührung des relativ warmen Wassers mit schwefelkieshaltigen Gesteinen erzeugt sein dürfte.

Die Sprungschicht ist von E. Richter [166] nachgewiesen und mit dieser treffenden Bezeichnung belegt worden. Sie ist in tieferen Seen durchweg vorhanden, ändert aber für den gleichen See ihre Lage mit der Zeit und kann sogar vorübergehend verschwinden. Für ihre genauere Feststellung hat Richter [167] einen eigenen Apparat konstruiert, mit dessen Hilfe festzustellen war, dass selbst auf minimale Vertikaldistanzen die Temperaturänderung oft eine rapide ist; etwa 1^{0} auf 25 cm. Wir teilen nachstehend einige, lediglich zur Erläuterung des Sachverhaltes dienende Beobachtungsthatsachen mit. Grissinger (s. o.) fand die Sprungschicht im Weissen-See zwischen 8 und 12 m Tiefe; ähnlich traf es Thoulet [168] bei den Vogesenseen von Longemer und Gerardmer. Tiefer liegt jene Schicht im Garda-See, in dessen österreichischem Teile Richter [169] folgendes fand: Von der Oberflächentemperatur von 19^{0} ab fiel die Temperatur zuerst sehr langsam, zwischen 20 und 30 m Tiefe aber von 18^{0} bis auf 13^{0}, um von da an ganz allmählich wieder zur Bodentemperatur von $7{,}7^{0}$ abzunehmen. Zwischen 10 und 15 m liegt nach Forels Messungen [170] die Sprungschicht im Boden-See. Wie bedeutend die jahreszeitliche Verschiebung in Lage und auch in Mächtigkeit dieser Vertikalzone ausfallen kann, haben De Agostini [171] die den volskisch-latinischen Vulkanseen und O. Marinelli [172] am Cavazzo-See (S. 769) erfahren, wo jene in der warmen Zeit zwischen 8 und 10 m, in der kalten zwischen 16 und 18 m gelegen ist. Sehr genaue Aufschlüsse über die Sprungschicht des Starnberger-Sees hat man durch Ule [173] erhalten. Dieselbe besitzt nicht nur die bekannte jährliche, sondern auch eine nicht zu verkennende tägliche Periode; gelegentlich tritt auch in geringerer Tiefe eine zweite Sprungschicht auf. Die Grenzflächen der Schicht brauchen keine Ebenen zu sein, und wenn sie dies auch sind, so ist doch darum horizontale Lage kein unbedingtes Erfordernis. Im Gegenteile erschien die obere Grenzfläche im genannten See von West gegen Ost geneigt, was mit dem Bodenrelief und auch mit einmündenden Wasserläufen zusammenzuhängen scheint.

Eine theoretische Interpretation des Wesens der Sprungschicht hat Richter (s. o.) gegeben, der sich auch Supan [174] und Ule (s. o.) angeschlossen haben, während Hergesell [175] gewisse Bedenken nicht unterdrücken kann. Innerhalb

einer beschränkten Wassermasse, so argumentiert man gewöhnlich, gibt es, gerade wie beim Meere (S. 490), eine vertikale Zirkulation, als deren Ursache die nächtliche Abkühlung zu betrachten ist. Die schwerer gewordene Oberflächenschicht senkt sich, kann aber nur so weit sinken, als die Temperaturverschiedenheit es zulässt, und der Spielraum der Vertikalzirkulation ist also unten begrenzt durch eine Fläche, welche mit derjenigen, die zur Nachtzeit Oberfläche ist, isotherm erscheint. So bildet sich eine Schicht heraus, welche die sonst angenähert gleichmässig sich vollziehende Temperaturverminderung mit der Tiefe zu einer sprunghaften macht. Hergesell findet es ganz in der Ordnung, dass bei Nacht die Dinge sich in der geschilderten Weise abspielen, erachtet aber die Tageskonstanz der Sprungschicht nicht ausreichend klargestellt. Seine Messungen zeigten, dass die Tiefenlage der erwähnten Schicht am Tage auch durch starken Bestrahlungswechsel nicht merklich verändert wird, und dass bei Nacht die Abkühlung bis zur untersten Stelle der Sprungschicht fortschreitet. Der Forschung bleiben mithin noch lohnende Aufgaben vorbehalten.

Die Ausgleichströmungen, von denen die Rede ist, streben eine gleichmässige Temperaturanordnung innerhalb des ganzen Wasserbeckens an (Uniformisation nach Forel [176]). Vollständig erreicht kann dieser Idealzustand höchstens auf Augenblicke werden. Der berühmte schweizerische Limnologe sagt, dass jeder See des gemässigten Typus (s. o.) durch die Homothermie hindurchgehen muss, wenn die normale Schichtung des Sommers (s. o.) sich in die umgekehrte des Winters zu verwandeln anschickt. Man war anfangs der Meinung, dass, sobald die homotherme Verteilung von 4° eingetreten sei, auch sehr bald der Gefrierprozess an der Oberfläche beginnen müsse; allein Forels Wahrnehmungen [177] an schweizerischen und schottischen Seen dienten dieser Ansicht nicht zur Stütze. Richter hebt hervor [178], dass an und für sich der Moment, in welchem die homotherme Erfüllung eine Thatsache ward, noch niemals beobachtet wurde, und dass, ehe der Kongelationsakt Platz greift, auch nach der Abkühlung des Sees auf 4° noch weitere namhafte Abkühlungen vor sich gehen müssen. Wohl aber gestaltet sich der Betrag dieser Abkühlung für ein und denselben See approximativ gleich [179]: In Wintern von gleicher Kälte überziehen sich immer die nämlichen Seegruppen mit einer Eisdecke, falls es überhaupt zur Eisbildung kommt. Tief gefrieren grössere Seen selten, und ein Zugefrieren, welches jedes organische Leben vernichten würde, kommt nur bei seichten Tümpeln vor. Die Verhältnisse der Eisbildung hat Forel [180] an den Seen der Schweiz näher betrachtet. Danach ist, wie von Hause aus wahrscheinlich war, die örtliche Dauer der Frostperiode von massgebender Bedeutung; 1880 waren die Seen der Nordschweiz aus diesem Grunde viel länger im Banne des Eises festgehalten, als die dem Gebirgsfusse benachbarten Seen, wie denn damals der fast stets eine leichte Eisdecke aufweisende St. Bernhard-See im Durchschnitte nur vier Tage länger als sonst wirklich zugefroren war. Die allermeisten schweizerischen Seen gefrieren in harten Wintern gänzlich; teilweise eisfrei bleibt immer der Vierwaldstätter-See, und der Genfer und Walenstadter-See, wie auch der Lac de Bourget bleiben ganz und gar eisfrei. Man muss mit A. Geistbeck [181] dreierlei Arten von Eis wohl auseinanderhalten, Küsteneis, eigentlich-lakustres Eis und Treibeis. Die grösste Dicke erreicht altes Ufereis, der Eisfuss (S. 547) der Binnenseen; am Kochel- und Tegern-See wurden 40 bis 50, am Ammer- und Chiem-See 50 bis 70 cm Mächtigkeit nachgewiesen.

Gewisse Seen der hochalpinen Region bezeichnet man als Eisseen. Mit ihnen und ihrer Entstehung beschäftigten sich Beer [182] und E. Richter [183]. Da diese durchweg nur kleinen Seen ganz oder doch grossenteils von Gletschereis umrahmt sind, so fehlt es ihnen nie an schwimmenden Eisinseln. Entweder hat ein Seitengletscher die Wasserläufe des Hauptthales abgedämmt (Eissee im Rofenthale, vgl. S. 753; Eissee im Bagnethale; Martell-See am Zufallgletscher, vgl. S. 753; Mattmark-See im Saasthale), oder umgekehrt hat der vordringende Thalgletscher den Bach eines Seitenthales aufgestaut (Eissee im Ridnaunthale; Burgler-See am Gurglergletscher; Rutor-See beim Kleinen St. Bernhard; vor allem aber Märjelen-See am Aletschgletscher. Von den Ausbrüchen solcher Eisstauseen ist früher (Kap. III, §. 14) ausführlich die Rede gewesen.

Absolut reines Wasser, das sahen wir schon, ist von keinem Binnensee zu erwarten; aber auf den Grad der Beimengung fremder

Stoffe kommt es an, wenn wir entscheiden sollen, ob ein See noch als Süsswassersee anzusehen ist oder schon den Salz- und Bitterseen zugeteilt werden muss. Uebrigens ist der Salzgehalt durchaus nicht etwa gleichmässig durch das ganze Seebecken verteilt. Vielmehr folgt aus Delebecques Untersuchungen [184]: Die oberen Schichten eines Sees haben reineres Süsswasser, als die tiefer gelegenen, und zwar ist der Unterschied zwischen oben und unten im Sommer stärker, im Winter weniger stark ausgeprägt. Regenwasser und Wasserzufuhr vom Lande her mag hiezu mitwirken, aber Delebecque hält es, im Einverständnis mit Duparc, für wahrscheinlich, dass das an der Oberfläche sich viel ausgiebiger entfaltende organische Leben viel kohlensauren Kalk absorbiere und zu dem erwähnten Unterschiede am meisten beitrage. Am konstantesten bleibt, soweit wir es bis jetzt zu übersehen im stande sind, der Gehalt an Magnesia. Dass die Seen abflussloser Gebiete weit salziger sein müssen, als diejenigen, welche am hydrographischen Pulsschlage der Natur lebhaften Anteil nehmen, liegt auf der Hand.

Europa entbehrt fast ganz der Salzseen; in grösserer Menge finden sie sich erst in den südrussischen Steppen, wo z. B. der Elton-See nach Wagner [185] nichts als „gesättigte Salzlake“ ist, um welche herum auskrystallisiertes Salz den Boden bedeckt. Kleine Natronseen befinden sich auch [186] im ungarischen Alföld (nächst Debreczin). — Ganz unverhältnismässig reicher ist Nord- und Westasien mit Seen dieser Art bedacht. Ueber die zahlreichen sibirischen Vorkommnisse orientiert am besten Pallas [187]; sie enthalten neben Kochsalz grossenteils schwefelsauren Kalk und Bittererde. Pallas war es auch, der nach Murchison [188] zuerst die Hypothese eines zentralen, den jetzigen Aral-See als Teil umfassenden Binnenmeeres aufstellte, und in der That kann man die Seen Russisch-Turkestans und der Kirgisensteppe, vorab den Balckasch-See als Ueberbleibsel jenes gigantischen Brackwassersees betrachten, welcher grossenteils verschwunden ist, aber immerhin auch im Kaspischen See noch ein kleines Meer zurückgelassen hat. Dass in dem 15500 qkm umfassenden Karabugas-Busen dieses Binnenmeeres, den der Tatare Adschi-darja (Salzwasser) nennt, die Salzausscheidung unaufhörlich vor sich geht, wurde bereits (S. 433) erwähnt, allein nach Andrussow ist der Salzgehalt kein so hoher, wie man gewöhnlich annimmt [189]. Die Karabugas-Meerenge, die auch tierischer Bewohnerschaft nicht entbehrt, ist keine eigentliche Bucht, sondern eher ein kurzer Fluss. — Die Seen des Tarym-Beckens, die man obenhin sofort als Salzseen anzusprechen geneigt sein könnte, sind dies nach Sven Hedin [190] nur dann, wenn die durchströmenden Flüsse geringen Wasserstand haben; einzelne Ausbuchtungen des Lop-Nor sind zumeist von Süsswasser erfüllt, nach längerer Trockenzeit dagegen ausgesprochen salzig. Die meisten Seen nördlich vom Himálaya bezeichnet H. Schlagintweit [191] übrigens als echte Salzseen, ohne dass doch die Salzmenge jemals ein gewisses Maſs überstiege. So hat der anerkannt relativ salzreichste Tromaglanarí bloss 13,5 ‰ Salzbestandteile in seinem Wasser. Reich an Salzlagunen ist Iran, vor allem das abflusslose Becken Afghanistans [192] (Seistan- und Hamun-See). Sehr salzig sind ferner die hocharmenischen Seen Urmia und Wan, obwohl letzterer, wie Ainsworth fand [193], nicht zu den ganz abflusslosen Seen zählt. Die zahlreichen kleinasiatischen Salzbecken liefern Speisesalz für den Export [194]. Am kräftigsten prägt sich jedoch der Salzseecharakter aus im Toten Meere, das, 394 m unter dem Spiegel des Mittelmeeres gelegen, durch sein Dasein von einer — im nächsten Kapitel zu analysierenden — Erdrevolution Kunde gibt. Genaue Bestimmungen des Fremdkörpergehaltes in diesem wirklich toten, von Tier und Pflanze gemiedenen, stattlichen See (73 km lang, 18 km breit) haben die amerikanischen Geologen vorgenommen [195]. Der Salzgehalt beträgt nahe an 24 %, und die Dichte ist demzufolge eine so beträchtliche, dass niemand untersinken kann, auch wenn er des Schwimmens unkundig ist. Das Chlormagnesium herrscht hier, wie im Elton-See (s. o.) vor, aber auch Bromverbindungen finden sich reichlich. — Halb zu Asien, halb zu Afrika gehören die bekannten Bitterseen des Suez-Kanales (5,37 %) [196]. Sonst sind die afrikanischen Seen

durchweg süss, sogar der abflusslose Tsad-See, und nur im subtropischen Norden und Süden ist der Salzseecharakter der dominierende. An der tunesisch-algerischen Grenze breitet sich die Schottregion aus, und schon Herodot wusste, dass dort Salz gewonnen werde [197]. Kapland aber und Rhodesia sind, wie Reiter [198] des näheren ausführt, durch die massenhaft auftretenden „Breakpans" ausgezeichnet; so nennt der Boer die flachen, an den Rändern von weissen Effloreszenzen eingesäumten Salzpfannen, denen auch der zwar grosse (fast 800 qkm), aber äusserst flache Ngami-See zuzurechnen ist. Treffend charakterisiert v. Uechtritz [199] diese Bildungen, welche in Deutsch-Südwestafrika nur in der Regenzeit bis zu 2 m Tiefe sich mit Wasser füllen, sonst aber nur den Eindruck einer etwas schmutzigen Schneedecke hervorrufen. — Stark gesalzen sind die meisten Seen Australiens. Teilweise ist, was wir so nennen, gar keine wirkliche Wasseransammlung vorhanden, denn neueren Forschungen zufolge [200], sind Eyre- und Amadeus-See gewaltige Flächen von blendender Weisse, aber so gut wie gar kein Wasser steht über den mit Gips gemengten Salzmassen.

Südamerikas tropisch-feuchtes Klima duldet nur ausnahmsweise die Entstehung von Salzseen. Nur das subtropische Argentinien besitzt solche, und vor allem begegnete ihnen Philippi [201] mehrfach in der Wüste Atacama (S. 314). Die sogenannten Salares sind meist flache, mit gesättigter Soole gefüllte Wannen; die Seen bei Copiapó sind den Boraxseen beizuzählen, indem ihre Randpartien mit diesem technisch wichtigen Salze ($Na_2B_4O_7 + 10H_2O$) bedeckt erscheinen. Im Bereiche Mittelamerikas kann nur die verhältnismässig trockene Tierra fria (S. 303) in Frage kommen; auf der mexikanischen Hochebene finden sich nach Felix-Lenk [202] zahlreiche Seen in einer Verwerfungsspalte eingelagert, und da sie hier keinen Abfluss haben, mussten sie sich mit der Zeit in Salzlagunen verwandeln. Weitaus die grossartigste Entwickelung hat jedoch das Phänomen der Salzseen im westlichen Nordamerika erlangt. Neben dem Utah-See und dem 22% Kochsalz enthaltenden Salt-Lake, der mit ersterem durch den „Jordan" zusammenhängt — beide sind Schrumpfungsreste des dereinstigen, riesigen Lake Bonneville (S. 325) —, ist vor allem der unlängst von J. C. Russell untersuchte Monro-See des Great Basin zu nennen [203], der durch die Mannigfaltigkeit seiner Salzbestandteile hervorragt. Sein Wasser enthält nämlich in Prozenten: Kohlensaures Natron 1,949; Chlornatrium 1,822; schwefelsaures Natron 1,007; Chlorkalium 0,222; kohlensauren Kalk 0,068; kohlensaure Magnesia 0,036; Kieselsäure 0,028. Wie temporär die Existenz eines Salzsees sein kann, geht aus der Geschichte eines neu entstandenen Sees in der Colorado-Wüste hervor. Dieser Fluss drang infolge einer vorübergehenden Laufverlegung in ein altes [204] Salzbergwerk ein, und in Bälde war ein Salzsee von 48 km Länge und 13 km Breite gebildet, der aber bald wieder kleiner wurde. Kalifornien bringt infolge der Verdunstung seiner zahlreichen Boraxseen im Jahre 5 Millionen kg dieses Minerales (Tinkal, Nevada-Borax) in den Handel. Die sogenannten Sodaseen von Wyoming sind, wie Harvey Astfield an Ort und Stelle ermittelte, jetzt so gut wie erloschen [205]; sie waren durch Auslaugung des pyrithaltigen Bodens entstanden, aber übrig geblieben ist von ihnen nur eine Kruste von verwittertem Natriumsulfat mit eingesprengten Glaubersalzkrystallen.

Ganz verfehlt wäre es, die salzhaltigen Seen lediglich um dieser ihrer Eigenschaft halber durchaus für Reliktenseen (S. 772) erklären zu wollen. Hierauf weist mit Nachdruck v. Fritsch [206] hin; es können die verschiedenartigsten Prozesse der Auslaugung und Festkörperzufuhr sich kombinieren, um einen abflusslosen See seinem unvermeidlichen Endschicksale entgegenzuführen. Seen mit Natriumkarbonat deuten vielleicht stets vulkanische Entstehung an. Die Art und Weise, wie aus den sich niederschlagenden Salzen durch Krystallisation ein festes Sediment entsteht, ist noch nicht vollkommen aufgeklärt [207]; jedenfalls liegt ein diagenetischer Vorgang (S. 672) zu Grunde. In der geologischen Vorzeit hat diese Diagenese jedenfalls viel energischer gewirkt, aber thätig ist sie auch noch in unseren Tagen.

Die Frage, wie, ohne dass Aenderungen in Temperatur und Verdunstung eintreten, übersättigte Salzlösungen zum Auskrystallisieren gelangen,

dürfte von der physikalischen Geographie noch kaum genügend berücksichtigt worden sein. Rosenberger führt [208] die sich entgegenstehenden Meinungen an. Tomlinson denkt an eine Verminderung der Oberflächenspannung durch Berührung mit organischen, öligen Stoffen; Baumhauer hält dafür, dass dem Kontakte der Lösung mit Teilchen gleichartiger oder doch wenigstens isomorpher Salze der Beginn des Aktes der Auskrystallisierung zeitlich entspreche.

§. 4. **Sümpfe und Moore.** Die Sümpfe hat als berechtigtes Glied im Systeme der physischen Erdkunde zuerst Varenius [209] anerkannt (vgl. I, S. 416). Nachher hat sich Muncke sehr viele Mühe gegeben [210], diesem Kapitel eine selbständige Behandlung angedeihen zu lassen, und die neueren Autoren räumen dieser Oberflächenform gleichfalls einen entsprechenden Platz ein, so Supan [211] und Penck [212]. Unter Sumpf oder Morast (bei festerem Gefüge Bruch; franz. marais; engl. march; ital. palude, stagno, maremma) verstehen wir allgemein Ansammlungen von Wasser, die eines dichten Pflanzenwuchses halber einen Mittelzustand zwischen See und Festboden repräsentieren.

Man legt in der Definition oft Gewicht darauf, dass das Wasser der Sümpfe ein vollkommen stagnierendes sei, allein mit Unrecht. Schon Varenius (s. o.) gibt eine anders beschaffene Definition. „Paludes duplices sunt. Quaedam uliginosa et mixta quasi substantia ex aqua et terra constant, ita ut vestigia hominum non ferat vel sustineat; aliae parva stagna vel aquarum collectiones habent, hinc inde parvis terrae siccae extantibus proportionibus.“ Die Zypressensümpfe (Swamps) des Mississippigebietes (vgl. S. 634, 686) weisen träge fortschreitendes Wasser auf, und noch mehr gilt dies von den Obä oder Flusswiesen des oberen Nil- und Uëlleterritoriums, mit welchen uns Junkers treffliche Schilderung [213] bekannt gemacht hat. Kleinere Tiere können diese schwimmenden Grasflächen anstandslos überschreiten; grössere brechen unfehlbar ein. Aeusserlich eignet dieser Abart der Sümpfe einige Aehnlichkeit mit den später noch besonders zu besprechenden Pflanzenbarren, allein es waltet ein erkennbarer Unterschied insofern ob, als, geologisch gesprochen (S. 684), bei den Obä die Vegetation sich am primären, bei den Grasbarren am sekundären Orte befindet. Ganz das gleiche Verkehrshindernis scheint auch auf Madagaskar vorzukommen; wenigstens geht dies aus einem nachstehend wiedergegebenen Berichte E. Wolfs [214] hervor. „Des Nachmittags hatten wir mehrfach schwimmende Wiesen zu passieren; grosse schwimmende Grasflächen ohne Grundwurzeln. Diese Grasflächen werden je nach der Höhe des Grundwassers bald hierhin, bald dorthin getragen. Das Vieh, oft bis zum Halse im Wasser stehend, frisst das Gras von diesen schwimmenden Wiesen ab. Der seiner Karawane vorausmarschierende Europäer befindet sich urplötzlich bis über die Hüften im Wasser, wenn er diese trügerische Decke in der Meinung, festen Wiesenboden vor sich zu haben, betreten sollte.“ Man sieht, dass diese Schwimmgebilde den schwimmenden Inseln (S. 633) vergleichbar sind; diesen letzteren aber ist doch immer eine gewisse Festigkeit und Stabilität zuzuschreiben, und ihr Auftreten ist nicht notwendig an eine Sumpfregion gebunden.

Eine spezielle Gattung von Flussümpfen stellt das von Tanfiljew untersuchte Poljesje in Nordwestrussland dar [215]. Man hat es mit einem von den Ufern her teils versandeten, teils versumpften See zu thun. Kiefernwälder mit eingestreuten Mooren umschliessen einen inneren Raum von 2500 qkm, der lediglich auf Bodenanschwellungen Waldinseln aufweist, sonst aber durchweg Rohrsumpf ist und meistenteils unter Wasser steht. Ein grösserer Fluss geht hindurch, aber das Rinnsal und Flussbett, beide gehen zwischen den überschwemmten Sümpfen oft ganz und gar verloren.

Wieder eine ganz andere Spielart der Sümpfe haben wir in den Erdschwämmen Innerafrikas zu erkennen, von denen Kiepert [216], im Anschlusse an Livingstones Reisen, berichtet hat. Rings um den Tanganjika-See breitet sich eine baumlose, ganz versumpfte Ebene aus; die ganze Mulde ist mit Feuchtigkeit gesättigt, und rings herum lagern die sogenannten Erdschwämme. Dies sind Erhöhungen, welche bis zu 1200 m ansteigen können, ½ bis 2 km breit und 4 bis 20 km lang sind; sie kommen überall da vor, wo eine Ebene sich gegen

einen engen Zwischenraum zwischen Bergen abdacht. In der Regenzeit saugen sich diese Hügel mit Feuchtigkeit voll, da nur immer ein kleiner Bach durch den erwähnten Pass abfliessen kann, und da von einem gewissen Momente an weitere Wasseraufnahme nicht mehr möglich ist, so treten Flüsse und Seen über ihr Ufer, und die Versumpfung nimmt überhand.

In Nordeuropa und Sibirien ziehen die Tundren unsere Aufmerksamkeit auf sich. „Unsere Sprache," sagt Brehm [217], „besitzt keinen deckenden Ausdruck für das Wort Tundra, weil es in unserem Vaterlande solches Gelände nicht gibt. Denn die Tundra ist weder Heide noch Moor, weder Sumpf noch Bruch, weder Geest noch Dünenland, weder Moos noch Morast, an so vielen Stellen sie auch an das eine oder andere dieser Gebiete erinnern mag." Auch das Wort Moossteppe entspricht nicht gänzlich. Immerhin mag die Bezeichnung gefrorener Moossumpf die Verhältnisse am richtigsten kennzeichnen, denn den grössten Teil des Jahres über ist die Tundra fest und nur in den kurzen Wochen des arktischen Sommers (S. 274) tritt die Sumpfnatur zu Tage. Brehm trennt Tief- und Hochtundra, die Gebrüder Krause trennen Moos- und Steintundra [218]. Obwohl nach v. Middendorff das Wort Tundra eher eine Vegetations-, als eine Bodenform festlegen soll [219], so kann man doch immerhin auch diese letztere Bedeutung festhalten; nach Kjellman sind Tundren alle die nördlich der Baumgrenze gelegenen Tief- und Hochländer, mögen sie nun mehr Sumpfmoore oder mehr feuchte Steppen sein [220]. Wollweide und Zwergbirke sind die typischen Vertreter der Tundrenflora [221], wie alle Polarpflanzen winzig im Höhenwachstum, bildet jene Weide gleichwohl Dickichte, die zum eigentlichen Filz werden können. Eisfüchse, Lemminge, Rentiere und einige Strichvögel sind die einzigen Bewohner der von den Menschen möglichst gemiedenen Landschaft, welche sich [222] von der Halbinsel Kola aus, wenn auch zunächst noch mit Unterbrechungen, in mittlerer Breite von 400 bis 800 km bis zur Beringstrasse ausdehnt.

Als ganz sumpffrei können einzig die sehr trockenen Erdräume gelten; im übrigen gibt es überall Sümpfe, und auch in den subtropischen Zonen wird der Salzsee nicht selten zum Salzsumpfe (Schotts, s. o.). Besonders bekannt sind die Pripetsümfe in Russland (s. o.), die Maremmen und pontinischen Sümpfe in Italien, der Macquariesumpf in Australien, der sich nur bei hohem Wasserstande gegen den Darling entwässert, und die berüchtigten, ein ungeheures Areal umfassenden Zedernsümpfe Floridas. Die Sümpfe Latiums, deren beste Beschreibung von Prony [223] herrührt, suchten schon die Römer Appius Claudius und Cethegus, mehrere Kaiser, der Ostgotenherrscher Theodorich und die Päpste, mit dem besten Erfolge Pius VI., der Kultur zurückzugewinnen, aber noch bleibt für das Programm des deutschen Ingenieurs v. Donat [224] ein gewaltiger Spielraum übrig. Derselbe will insonderheit aus hygienischen Gründen, um endlich die verheerende Sumpf-Malaria (S. 368) zu bannen, eine „Radikalkur" anwenden [225], kraft deren „keinerlei Tümpel, kein Streifen nasser Wiese" zurückbleiben dürfte. Ob das hohe Ziel erreichbar sein wird? Die 2600 qkm umschliessenden Maremmen (in Toskana) hat man durch Hineinleitung von Apenninengewässern, die viele Sinkstoffe mit sich führen, teilweise urbar gemacht.

Die bisher betrachteten geographischen Belege haben darüber aufgeklärt, dass es im allgemeinen verfehlt wäre, wahllos jeden Sumpf als das letzte Entwickelungsstadium eines Sees aufzufassen. Dagegen spricht schon der Umstand, dass Sümpfe noch in weit höherem Maſse, als wir dies von den Seen erfuhren, kommen und verschwinden. Wenn aber allerdings eine Wassermasse auf undurchlässigem Grunde steht und einerseits in den unteren Schichten bewegungslos verbleibt, andererseits aber mehr und mehr von Wasserpflanzen durchzogen wird, so ist der Versumpfungsprozess bald eingeleitet. Die einzelnen Stadien der Versumpfung und der sich an sie vielfach anschliessenden Vermoorung sind in dem Werke [226] von Senft sehr ausführlich erläutert worden.

In kalkarmen Gegenden pflegt dieser Akt von oben nach unten, in kalkreichen aber, zu denen mithin auch die Nordalpen gehören, von unten nach

oben fortzuschreiten. Das Ufer und eine dem Ufer benachbarte, flache Seezone kommen zuerst an die Reihe; vor allem hilft es rasch vorwärts, wenn in den Randpartien durch das Ausreissen von Bäumen, Sträuchern u. s. w. Löcher entstanden sind. Hier siedelt sich Sphagnum, das gemeine Sumpfmoos, an, eine Pflanze, welche die Eigenschaft hat, als Feuchtigkeitssammler zu wirken und so in ihrer nächsten Umgebung immer aufs neue die Moosbildung zu befördern. So wächst Moos, mit Borstengras und anderen Gewächsen vermischt, in den See hinein, und ein immer dichterer Ueberzug legt sich über die Wasserfläche. Indem die Pflanzendecke immer schwerer wird, senkt sie sich mehr und mehr; das Wasser wird verdrängt, die Landbildung eine immer vollkommenere, so dass der See als solcher (S. 769) verschwindet. Wir erinnern an die nahe verwandte Aktion der Manglebüsche an der Meeresküste (vgl. S. 621); zumal v. Liebigs Schilderung [227] des Landwachstums auf den Andamanen gemahnt lebhaft an die Art und Weise, wie die Sumpfvegetation einem See das Dasein nimmt. Im anderen Falle, wenn also der Seeboden wesentlich Kieselsäure enthält, wachsen in der Uferzone Algen, Schilf und Wassergräser in die Höhe, und indem die Verlandung gegen die Mitte vorschreitet, wird der zentrale Wasserfleck über den tieferen Partien sichtlich eingeengt, und eine sumpfige Grasflur ist zuletzt an die Stelle des Sees getreten.

Ein Sumpf, dessen Decke fest genug geworden ist, um begangen zu werden, heisst Moor oder Ried (altbayerisch Moos oder Filz). Im Uebergangszustande spricht man von Bebemooren (nach G. Marinelli [228] ital. praterie tremant oder — in den Maremmen — pollini; in Brasilien tremendal; auf Cuba trembladores; in Irland Shaking Bogs). Landschaftliche, botanische und physikalische Umstände haben zur Folge, dass der Charakter der Moore durchaus nicht immer der gleiche ist, sondern dass solch verfestigte Sümpfe oft ein sehr verschiedenes Bild gewähren.

Zu den ausgedehntesten Mooren Deutschlands gehören das Wallonische Moor [229] (zwischen Eupen und Malmedy), das Teufelsmoor (bei Bremen) und das Bourtanger Moor (an der Grenze von Hannover und Oldenburg). Auf das zuerst genannte weist der Name Hohe Veen für den nordwestlichen Ausläufer der Eifel hin, denn Vene (= Moor) ist die Bezeichnung für ein Moor in der Sprache der nächst angrenzenden Niederlande. Grisebach [230], Hunaeus [231] und in neuester Zeit Salfeld [232] haben sich mit den niedersächsischen Mooren beschäftigt. Speziell die oldenburgischen Moore bilden den Gegenstand morographischer Darstellung bei Schacht [233], die mecklenburgischen bei Geinitz [234], die ostpreussischen bei Jentzch [235]. In letzterer Arbeit wird eine Einteilung der Moore durchgeführt, welche zumal in Litthauen sehr viel Bodenfläche einnehmen, wogegen weiter südlich, im Masurischen, das Kalkwasser der Moorbildung hinderlich ist [236]. In den Flussthälern liegen die Grünlandmoore; in anderen Mooren finden sich, als auszeichnendes Merkmal, offene Wasserflächen, die Blänken, welche also einen noch nicht sehr weit gediehenen Fortschritt des Vermoorungsprozesses andeuten. Den Grünlandmooren, welche Salfeld (s. o.) auch Wiesenmoore nennt, stellt derselbe die nach oben gewölbten, auf mehr trockenem Grunde entstandenen und einem gewaltigen Schwamme vergleichbaren Hochmoore und sodann noch die Dargmoore gegenüber. Letztere sind wesentlich eine Rohrwucherung, die, wie Virchow [237] zeigte, nach den in ihnen enthaltenen Baumstümpfen sich einigermassen auf ihr Alter prüfen lassen. Zusammenfassend hat Tacke [238] die nordwestdeutschen Moore behandelt; er schiebt zwischen die beiden grossen Gruppen der Niederungsmoore (Grünlandmoore) und Hochmoore oder Moortorfheidenmoore als dritte Gruppe die Uebergangsmoore ein. — In ein anderes deutsches Land führt Männels Studie [239] über das vermoorte Erzgebirge (über 100 qkm). Als dortige Typen werden Plateaumoore, Gehängemoore, Bachmuldenmoore und Thalmoore im engeren Sinne unterschieden.

Den Bayern haben von jeher die in ihrem Lande so zahlreichen Moore (Donau-Moos, Dachauer Moos, Erdinger Moos, Weilheimer Moos, Loisach-Filz) grosses Interesse eingeflösst, und v. Westenrieder [240] bemühte sich, wie C. Gruber [241] nachweist, bereits ernstlich um die Ergründung

der Ursachen der Vermoorung. Sieben glaubte er ausfindig gemacht zu haben, und in der That lässt sich, was er vorbringt, recht gut hören, wie er denn namentlich die Infiltration des Geländes durch das fliessende Wasser und durch den Grundwasserstrom (s. in §. 5) richtig erkannt hat. Später haben v. Schrank [242], der die Regierung Karl Theodors bei der Entwässerung des Donau-Mooses (s. o.) beraten hatte, J. F. Weis [243] und A. Vogel [244] wertvolle Beiträge zur besseren Kenntnis der bayerischen Moore geliefert; C. Gruber [245] hat die gesamte damals vorhandene Litteratur kritisch gewürdigt; A. Baumann in München, für den die dortige Regierung, in Anerkennung der landwirtschaftlichen Bedeutung einschlägiger Fragen, die Stelle eines „Moorkonsulenten" begründete, gab eine kartographisch unterstützte Uebersicht [246] über das Gesamtgebiet. Man übersieht auf der Karte ausserordentlich deutlich, wie genau die nördliche Verbreitungsgrenze der Moore mit jener der grossen quartären Gletscherbedeckung (S. 750) zusammenfällt. Die Moore dieser Moränenlandschaft müssen, wenn auch der äussere Befund minder sprechende Kennzeichen liefert, den Hochmooren, die extraglazialen Moore müssen den Niederungsmooren (s. o.) an die Seite gestellt werden. In der äusseren Randzone jenes Gebietes wechseln nach Gruber [247] unaufhörlich Sumpf und Moor mit Heidelandstrichen, welche deshalb trocken bleiben, weil auf der einen Seite sich die Landoberfläche hier weiter vom Grundwasserspiegel entfernt, und weil auf der anderen das Terrain durchlässig ist und dem meteorischen Wasser ein rasches Durchsickern ermöglicht. Auch botanisch kann man, wie dies O. Sendtner und K. Fraas erörtert haben [248], eine Moor-Klassifikation durchführen, doch ist das chemische Kriterium das zuverlässigere. Baumann wählt als solches den wechselnden Stickstoffgehalt. „Während in typischen Wiesenmooren der Moränenzone 5,011 kg Stickstoff per Kubikmeter frischer Moormasse enthalten sind, finden sich im Hochmoor mit Baumwuchs im Mittel nur noch 3,798 kg, im Heidemoor 2,674 und im Sphagnum- und Wollgrasmoor 2,142 kg [249]. So gut wie ganz fehlt, wie Ebermayer [250] darthat, den bayerischen Mooren die Salpetersäure. — Uebrigens hat auch die geographisch-morphographische Einteilung der Moore ihre Berechtigung. So unterscheidet Gruber [251] Thalflächenmoore (Quell-, Stau- und Infiltrationsmoore), Moore der Moränenlandschaft (Moore an Seeufern, Moore an Stelle erloschener Seen, Moränenmoore schlechtweg) und Gebirgsmoore (an Bergabhängen, auf den Höhen, in Thalweitungen, auf dem Boden der Felszirken).

Von nichtdeutschen Mooren kennen wir genauer [252] das durch prähistorische Funde bekannt gewordene Laibacher Moor, welches mit seinen 20000 ha die Grenze zwischen Julischen Alpen und Karst bildet, jetzt aber zum grossen Teile trocken gelegt ist. Die ausgedehnten Moore der hohen Tátra (S. 774) hat Filaroky [253] beschrieben. Ausserordentlich moorreich ist Holland, und so ist denn auch diese Oberflächenform im Blinkschen Werke [254] ausgiebig bedacht. Auch hier erscheint die Hervorhebung der „Moerasvenen" als Zwischentypus zwischen „Laagvene" und „Hoogvene" notwendig [255]. Gebüsche, so schliesst Blink [256] auf Grund der niederländischen Verhältnisse, müssen als eine wesentlich begünstigende Mitursache der Hochmoorbildung betrachtet werden.

Eine besonders interessante Spezialform tritt uns in den Mineralmooren (Franzensbader Moor und Soos in Böhmen, Aiblinger Moor in Oberbayern) entgegen. Die nordwestböhmischen Moore dieser Art weisen die kräftigste Entwickelung auf, und ihre Zusammensetzung, wie sie uns Bieber [257] vorführt, soll deshalb auch hier näher erläutert werden. Auf zementartiger, wasserstauender Thonschicht ruht das Moor auf, eine durchaus quartäre (S. 679) Bildung. Die oberen Horizonte sind dunkelblau; tiefer unten, wo auch der Mineralgehalt zunimmt, wiegt eine pechschwarze, speckige Masse vor. Dieselbe ist so homogen, dass sich die vegetabilischen Bestandteile nur schwer unterscheiden lassen. Chemische Analyse ergibt hauptsächlich schwefelsaures Natron, schwefelsaure Magnesia und schwefelsaures Eisenoxydul; das Moor ist eben nach Cartellieri [258] das Endergebnis stetiger chemischer Wechselwirkung zwischen einem gewöhnlichen Moorlager und unzähligen dieses durchziehenden Eisensäuerlingen (s. u. in §. 7). Gasquellen brechen auch allenthalben hervor. Auch kleine Hügel, Bulten, unterbrechen die Eintönigkeit der Moorfläche; verstreute Vegetationsinseln, deren Herausbildung durch örtliche Wasseransammlung möglich gemacht wurde. Bohnerz u. dgl., Blaueisenerde und Eisenocker treten als feste mineralische Ausscheidungen auf. Man sieht: Wären nur

Pflanzen bei der Moorbildung beteiligt gewesen, so wäre bloss Vertorfung erfolgt; da aber Mineralquellen den Vertorfungsprozess beeinflussten, so musste die charakteristische Mineralmoorsubstanz, zusammen mit Quell-, Wiesen- und Sumpferzen, zustande kommen. Das Moorquantum, welches balneologisch verwertet werden soll, wird getrocknet, wobei durch Luftzutritt und Verwitterung die bis dahin ungelösten Mineralbestandteile in lösliche übergehen. Moorbäder-Wirkung beruht, wie die heutigen Aerzte zumeist urteilen [259], wesentlich auf der ganz ungeheuren Wärmekoerzitivkraft der stark erhitzten Moorsubstanz; dieser anhaltenden Wärmewirkung vermögen sehr oft selbst veraltete rheumatische und gichtische Leiden nicht zu widerstehen.

Die oberen Moorschichten bestehen, falls nicht die soeben geschilderten ausserordentlichen Verhältnisse vorliegen, durchweg aus Torf (S. 686). In ihm macht sich häufig ein erkennbarer Schichtenwechsel bemerkbar, dessen sich die Lehre von den Klimaschwankungen als eines Hilfsmittels für die Nachweisung klimatischer Aenderungen bemächtigt hat [260], worüber früher schon (S. 330 ff.) eingehendere Nachricht gegeben wurde. Torf besteht aus Wurzeln, Fasern, Blättern und den nie fehlenden Beigaben von Sphagnum und Polytrichum, hat eine braune Färbung und ist vielfach, wie die schon etwas mehr mineralisierte Braunkohle, mit Erdpech (S. 687) durchzogen. Die Tropenländer haben nur wenige Torflager aufzuzeigen und in diesem Falle befinden sie sich in grösserer Höhe; in der subpolaren und polaren Zone kommt Torf um so häufiger vor.

Durch die verschiedensten chemischen Prozesse entstehen im Torfmoore gewisse feste Kohlenwasserstoffverbindungen, wie Dopplerit, Fichtelit und Limonit. Ersteren hat Früh, den Fichtelit Bromeis genau untersucht und gefunden [261], dass sie keine Erdharze, sondern ein langsam gebildetes Produkt der Vertorfung sind. Limonit (Brauneisenstein) findet sich vielfach als kugelige, auch tropfsteinartige Konkretion und wird vom Volke mit Blitzröhren (S. 153) verwechselt. Ausserordentlich schöne Fundstücke dieser Art sind aus der Rheinebene bei Dürkheim i. Pf. bekannt und befinden sich in den Sammlungen der Naturforschenden Gesellschaft dortselbst („Pollichia"). Früh hat auch festgestellt, das es marine Torfbildungen nicht gibt, dass geringe Härte des Wassers den Vorgang der Vertorfung unterstützt, und dass Rasenmoore nicht allein häufig den Untergrund von Hochmooren, sondern geradezu den Ausgangspunkt zur Bildung von solchen bilden. Aeltere theoretische Untersuchungen über Torfmoorbildung und über die Eigenschaften des Torfes besitzt man von Dau [262], v. Chamisso [263], Lesquereux [264] und insbesondere von Clessin [265]; die Thesen des letzteren wurden von Früh in der Hauptsache bestätigt. Den früher beliebten Raubbau, welcher zum Moorbrennen und zur Erzeugung des Höhenrauches führte (vgl. S. 20), sucht man in neuerer Zeit, wie Tacke (s. o.) schildert, durch eine rationellere Bodenverwertung zu ersetzen, indem zugleich Brenntorf gewonnen und — ein weniger einem Hazardspiele vergleichbarer — Getreidebau ermöglicht wird. Grahl gibt fortlaufend „Mitteilungen des Vereines zur Förderung der Moorkultur im Deutschen Reiche" heraus; die land- und volkswirtschaftliche Seite der Reform beleuchtet v. Bodungen [266]. Eine sehr wertvolle Hilfe wurde diesen Bestrebungen gewährt durch den Umstand, dass man in der aus der obersten Moorschicht gewonnenen Torfstreu (Torfmull) ein höchst verwendbares Desinfizierungsmittel kennen lernte. Belehrung darüber geben die Schriften [267] von Blasius und Fleischer.

Einer ebenso seltenen und furchtbaren, wie wissenschaftlich bemerkenswerten Erscheinung ist noch zu gedenken, nämlich der Moorausbrüche. Man fühlt sich, wenn man Berichte über derartige Vorkommnisse liest, an die Gletscherkatastrophen (Kap. III, § 13) erinnert. Ein zerstörender Schlammstrom, der am 25. Juni 1821 einem Hochmoore bei Kinaladay (Irland) entquoll, überdeckte eine zuvor mit Häusern, Wald und Feld bestandene Fläche von über 10 qkm Inhalt [268]. Klinge, der eine sorgfältige Arbeit über diese Ereignisse lieferte [269], konnte für den Zeitraum 1745 bis 1883 nur 9 beglaubigte Fälle nachweisen. Man dachte an die Explosion unterirdischer Gasansammlungen oder auch an ein Platzen des

Moorschildes, der durch lange dauernde Regengüsse bis über seine Aufnahmefähigkeit mit Feuchtigkeit durchtränkt sein sollte. Letzteres leugnet Klinge mit Fug; er löst das Phänomen von den spezifischen Eigenschaften des Moores ab und identifiziert es mit den Erdschlipfen, die uns im nächsten Kapitel begegnen werden. Die Regengüsse bereiteten die Eruption nur insofern vor, als durch sie eine Auflösung des inneren Zusammenhanges erleichtert ward. Eine geologische Kommission hat alle faktischen Einzelheiten des furchtbaren Ausbruches erhoben [270], welche am 27. Dezember 1896 das Knocknawaymoor in Südirland sprengte, wobei mehrere Menschen umkamen. Die Experten wünschen Gewicht darauf gelegt zu sehen, dass beinahe alle Mitteilungen über Moorkatastrophen sich auf Irland beziehen, dass also in der irländischen Bodenbeschaffenheit eine gewisse Prädisposition für solche Anomalien zu suchen sein muss. Die Thatsache, dass die Moore der Grünen Insel viefach Quellmoore sind, so dass also immerhin interner Wasserdruck das Aufbersten der Moordecke erzwungen haben kann, will gewiss berücksichtigt sein; auch die durch einen kurz zuvor empfundenen Erdstoss bewirkte Störung des Gleichgewichtes mag als sekundäres Moment in Betracht kommen. Die britischen Aufklärungen bearbeitend, sieht sich Früh [271] jedoch zu der Ansicht Klinges im grossen und ganzen zurückgeführt. Man hat es nicht mit eigentlichen Ausbrüchen, wie bei feuerspeienden Bergen oder selbst bei Schlammvulkanen (I, S. 377), sondern mit einer gleitenden Bewegung zu thun, und nur ausnahmsweise wird von einem Ueberfliessen breiiger Torfmassen („Walking Bogs") die Rede sein können. Vorherrschen von Sphagneen, rapide Vertorfung der unteren Moorschichten, starke Wasserbelastung und Aufliegen des Moores auf einer thonigen, geneigten Felsschicht begünstigen die Abrutschung; während dieser zerfällt das Moor, und mit grosser Geschwindigkeit stürzt eine halbflüssige Masse in die angrenzende Ebene hinab. Die Analogie mit der Vermuhrung (s. u. in Kap. V) dünkt uns eine durchschlagende und auch die Kausalerklärung wesentlich erleichternde zu sein.

§. 5. Das Grundwasser. Allüberall stösst man, wenn man nur tief genug in die Erde hineindringt, auf Wasser, vielfach sogar in Gestalt kräftiger Adern. Einzig und allein der gefrorene Polarboden (I, S. 332) würde einen solchen Versuch ganz aussichtslos erscheinen lassen. Es ist dieses Grund- oder Bodenwasser, welches die Quellen und Brunnen liefert. Die blosse Bodenfeuchtigkeit, welche auch die Schichten oberhalb des normalen Grundwasserniveaus durchdringt, ist mit dem im Erdboden frei zirkulierenden Wasser keineswegs identisch. Von der Art und Weise, wie dieses letztere in den Boden kommt, soll hier einstweilen noch nicht gesprochen werden, sondern lediglich davon, welches die wichtigsten physikalischen Eigenschaften dieses Wassers sind.

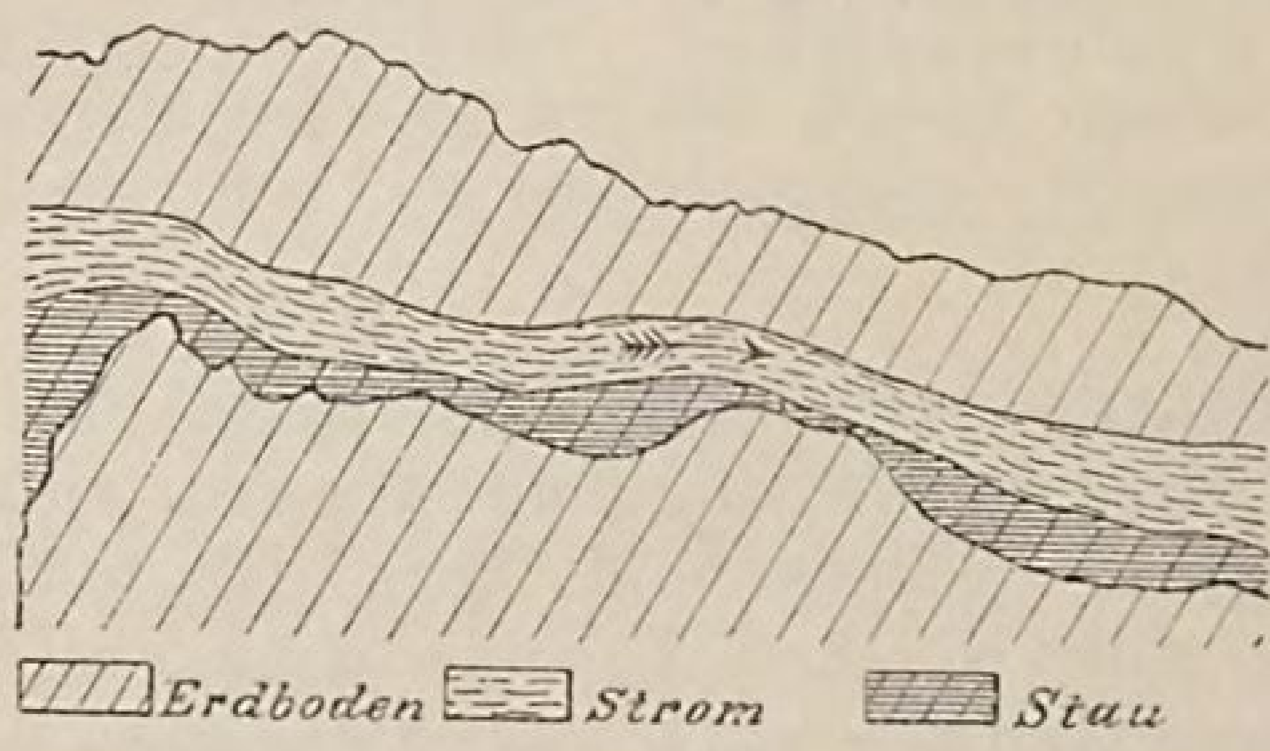
Die Quantität des gesamten in der Erde vorhandenen Wassers hat man, wie Ule [272] mitteilt, auf 1278 Millionen Kilogramm geschätzt. Diese Zahl will natürlich nur als rohe Schätzung hingenommen sein und darüber vergewissern, dass die Gesamtmenge des Grundwassers eine ungeheuer grosse ist. In tief eindringender Weise hat diesen Teil der Erdphysik zuerst Dupuit [273] behandelt, dessen Werk jetzt noch mit Vorliebe zu Rate gezogen wird. Wenn in ihm das technische Interesse scharf betont wird, so sind dafür Daubrées [274] grossartige Untersuchungen über die unsichtbaren Gewässer ganz allein aus geophysikalischem Geiste geboren.

Selbst die Wüstenregion entbehrt keineswegs des Grundwassers. Schon in alter Zeit wusste man, dass die Sahara und die Libysche Wüste nicht bloss natürliche, sondern auch künstlich hervorgebrachte Oasen oder Kulturlandinseln (altägyptisch Uah, koptisch Wah) aufzuweisen haben, welch letztere nur durch Brunnenbohrung dem Sande abgerungen waren. Diodor von Tarsus, Photius, Olympiodor sind Zeugen hiefür aus frühchristlicher Aera; ersterer sprach sich nach Martins [275] folgendermassen aus: „Warum hat die innere Region der Thebais, welche man Oasis nennt, weder Fluss noch Regen, der sie bewässert, sondern warum wird sie nur vom Laufe der Quellen belebt, welche nicht von selbst . . .,

sondern Dank einer grossen Arbeit der Bewohner aus dem Boden sprudeln?" Wir kommen auf diese Quellen im nächsten Kapitel zurück und halten uns jetzt bloss an die Thatsache, dass Wasser vorhanden ist. Ganz ebenso, wie die grosse afrikanische Wüste, es sei in dieser Hinsicht auf die autoptischen Angaben von Lenz [276] hingewiesen, dereinst einmal wirkliche Flüsse besass, so gibt es nach Schweinfurth [277], der die einschlägigen Beobachtungen von Rohlfs und Sickenberger verwertete, fliessendes Wasser ebendort in einer Tiefe von mehr denn 50 m, welches bewirkt, dass das oberflächlich abflusslose Becken des berühmten Möris-Sees gleichwohl bloss süsses Wasser hergibt. Auch die öden Sandstrecken Deutsch-Südwestafrikas könnten in Agrikulturgebiet umgewandelt werden, wenn man die Mittel hätte, überall bequeme Zugänge zu den unterirdischen Wasserreservoiren zu schaffen. Die Landesbeschreibung von Schinz [278] gibt nach dieser Seite hin alle wünschbaren Aufschlüsse.

Schon aus diesen Darlegungen, die sich nur auf ganz bestimmte Teile der Erdoberfläche beziehen, erhellt, dass es falsch wäre, sich in grösserer Tiefe ein ausgedehntes Bassin stillstehenden Wassers vorzustellen. Das wäre nur dann möglich, wenn allüberall eine undurchlässige Schicht in gleicher Entfernung vom Boden den Grund dieses supponierten unterirdischen Sees abgäbe. Thatsächlich wechseln durchlässige und spröde Schichten bunt miteinander, so dass das in den Boden eindringende Wasser (s. in § 6) bald eine Stauung erleidet, bald wieder rasch abfliessen kann. Wenn, wie dies Lueger in seiner eingehenden Analyse dieser Bewegung [279] kennzeichnet, unzählige, unter sich kommunizierende

Fig. 157.



Wege den Abfluss des Bodenwassers von höheren zu tieferen Horizonten ermöglichen, so bildet sich eine regelmässige Oberfläche dieses fliessenden Wassers heraus, über deren Form man durch Abteufung von Brunnenschächten und durch Messung des Spiegelstandes in jedem dieser Rohre ins klare kommen kann. Diese Oberfläche ist natürlich keine stabile, im allgemeinen auch nicht geometrisch durch eine Gleichung ausdrückbar; da, wo die Wassermenge oder — bei gleichbleibendem Querschnitte — der Widerstand wächst, wird die Neigung gegen den Horizont eine stärkere werden u. s. w. Trotzdem kann versucht werden, in erster Annäherung auch ein mathematisches Bild von der Art dieser Bewegung zu erhalten.

Wir fühlen uns dem Gesagten zufolge berechtigt, einen allenthalben verbreiteten Grundwasserstrom anzunehmen, an dessen Stelle nur gelegentlich, wenn eine Wanne im Boden das ihr direkt von oben zugeführte Wasser aufnehmen muss, ein wenig ausgedehnter Grundwassersee treten kann. Nach Dupuit [280] kann der Grundwasserstrom als von einer parabolischen Cylinderfläche begrenzt gelten, deren Leitlinien horizontal gelegen sind. Noch genauer wird man die Wasserverhältnisse der oberen Erdschichten übersehen, wenn man mit Hoefer [281], in Anlehnung an Fig. 157, alles Bodenwasser in Strom und Stau scheidet.

Der untere Teil der Grundwassermasse entbehrt der Bewegung zwar nicht ganz, aber immerhin ist hier die Translation nur eine ganz langsame und auch

unregelmässige; der Stauspiegel ist eben nur sehr wenig gegen den Horizont geneigt. Ueber diesen Spiegel fliesst der Strom hin, ohne dass eine namhafte Wassermischung stattfände. Kann man beim Brunnengraben bis unter den Stauspiegel hinab gelangen, so ist die Wasserversorgung am besten gewährleistet, weil dann der Stau in Zeiten geringerer Ergiebigkeit des Stromes als Ausgleicher dient. Nur bis zum Stau reicht auch die Cylinderfläche, deren Direktrix wir nachstehend ableiten wollen. Wir setzen voraus, das Material, durch welches hindurch der Strom seinen Weg nimmt, bestehe aus lauter sphärischen Körnern von wesentlich gleicher Grösse. Wie gross ein jedes Korn sei, ist gleichgültig, denn eine geometrische Betrachtung von Lueger [282] lehrt, dass, wenn man einen geschlossenen Raum soweit möglich mit Kugeln von gleichem Durchmesser anfüllt, die Summe der frei bleibenden Zwischenräume als unabhängig von diesem Durchmesser betrachtet werden kann. Wenn dann, wie dies Cranz [283] gezeigt hat, die Papierebene den Strom in der vertikalen, als Grundwasserspiegel bezeichneten Kurve $f(x, z) = o$ schneidet, deren Gleichung wir kennen lernen wollen, während die XY-Ebene mit der undurchlässigen Schicht — besser mit dem Stauspiegel — zusammenfällt, so kann unter obiger Annahme die Geschwindigkeit u des Stromes dem Gefälle proportional gesetzt und, unter k einen Erfahrungskoëffizienten verstanden, durch $k\,dz : dx$ ausgedrückt werden. Ist ferner Q die Menge von Grundwasser, welche in der Zeiteinheit durch die Flächeneinheit fliesst, so hat man, wenn noch φ eine zweite empirische Konstante, l aber den Grundwasser führenden Bodenquerschnitt bedeutet, diese Gleichungen:

$$Q = l\varphi z u = k l \varphi z \frac{dz}{dx}; \quad z\frac{dz}{dx} = \frac{Q}{kl\varphi}.$$

Hier kann man anstandslos auf beiden Seiten integrieren und findet, wenn c_1 und c_2 zwei neue Konstanten darstellen, als gesuchte Gleichung:

$$\frac{1}{2}z^2 = \frac{Q}{kl\varphi}x + \text{Konst.}, \quad z^2 = c_1 x + c_2.$$

Der Grundwasserspiegel — dieses Wort ist bezeichnender als der auch gebrauchte Terminus Staukurve — ist eine Parabel, deren Achse horizontal liegt und der X-Achse parallel verläuft.

Unsere Betrachtung kann selbstverständlich nur als eine theoretische aufgefasst werden, in deren Ergebnis die thatsächlichen Verhältnisse vielfach beeinflussend eingreifen. Aber einen ersten Anhalt gewährt unsere Kurve immer, sonst würde nicht auch Thiem, der bei seinen praktischen Studien über Wasserzufuhr alle Umstände zu beachten hatte, von ebenderselben ausgegangen sein [284]. In einem Flussthale steigt der Spiegel vom Thalwege aus an den Gehängen sanft an [285]. Der Regel nach teilt, worüber §. 10 zu vergleichen sein wird, der Fluss selbst dem Grundwasserstrome von seinem Ueberflusse mit, aber deswegen müssen wir doch von den zehn Leitsätzen, welche v. Sonklar [286] für die Grundwasserbewegung aufstellte, gleich den ersten verwerfen, weil er besagt, das Grundwasser eines Thales rühre fast ausschliesslich von dem das letztere durchziehenden Flusse her. Nur aus dieser nicht zulässigen Anschauung erklärt sich auch die Folgerung, dass Seitenflüsse zum Grundwasser in gar keiner Beziehung stünden. Dagegen ist es vollkommen richtig, dass die Oszillationen des Grundwassers mit denen der Flusspegelstände korrespondieren, indem nur die Amplitude der Schwankungen in diesem Falle die geringere ist. Alle diese Fragen muss der Hydrotechniker im Auge behalten, dem die Aufgabe gestellt ist, die Trinkwasserversorgung einer Stadt zu regulieren. „Soll," so äussert sich Thiem [287], „die Bestimmung der Reichhaltigkeit des Untergrundes an Wasser systematisch und methodisch erfolgen, so hat die Untersuchung die Grösse der einzig und allein massgebenden drei Faktoren festzustellen: Grösse des Gefälles des Grundwasserstandes, Mächtigkeit der wasserführenden Schicht und Durchlässigkeit des Untergrundes." Auch der etwaige Salzgehalt des Grundwassers, welcher durch Auslaugung salzreicher Böden, sowie durch das Eindringen salzführender Stoffe in die schwach fliessenden Partien des Stromes oder in den Stau zu erklären ist, bedarf der Vorprüfung, weil ausserdem, wie v. Richthofen [288] bemerkt, quellenarme Oertlichkeiten immer an schlechtem, alkalienreichem resp. salzigem Wasser leiden.

Wenn es damit seine Richtigkeit hat, dass (s. in §. 6) das Bodenwasser hauptsächlich aus der Atmosphäre seine Nahrung bezieht, so ist notwendig an eine gewisse Abhängigkeit der Grundwasserstände von Witterung und Klima zu denken. Die Jahresschwankung kann nach Liznars Mitteilungen [289] auf mehr als 2 m steigen. Die Einwirkung, welche bezüglich Niederschlag und Verdunstung äussern, kann man genau überblicken, seitdem Soyka [290] die Abhängigkeit der Jahresperiode des Grundwasserpegels von beiden meteorologischen Faktoren aufgehellt hat. Die deutschen Orte, welche nach dieser Richtung geprüft wurden, sind in ihrem Verhalten verschieden, und es treten unverkennbar zwei Typen hervor, je nachdem Regen oder Verdunstung das meistbestimmende Element sind. München passt sich dem ersteren, Berlin mehr dem letzteren Typus an. Eine Tabelle Soykas [291], welche neben die Niederschlagshöhe (in Millimetern) das bis zu einem gewissen Grade die Verdunstung messende Sättigungsdefizit (S. 23) stellt, geben wir nachstehend wieder; links des starken Striches stehen die Mittelzahlen Münchens, rechts diejenigen Berlins, längeren Zeiträumen (von 30 und 16 Jahren) entnommen (h Pegelhöhe des Grundwassers):

Jahreszeit	Niederschlag	Verdunst.	h	Niederschlag	Verdunst.	h
Winter . .	— 29,5	— 1,33	— 0,07	— 7,2	— 1,97	+ 0,03
Frühling .	— 5,5	+ 0,11	+ 0,04	— 8,2	+ 0,03	+ 0,27
Sommer .	+ 42,4	+ 1,69	+ 0,12	+ 15,3	+ 2,49	— 0,08
Herbst . .	— 7,3	— 0,46	— 0,08	— 0,0	— 0,54	— 0,22

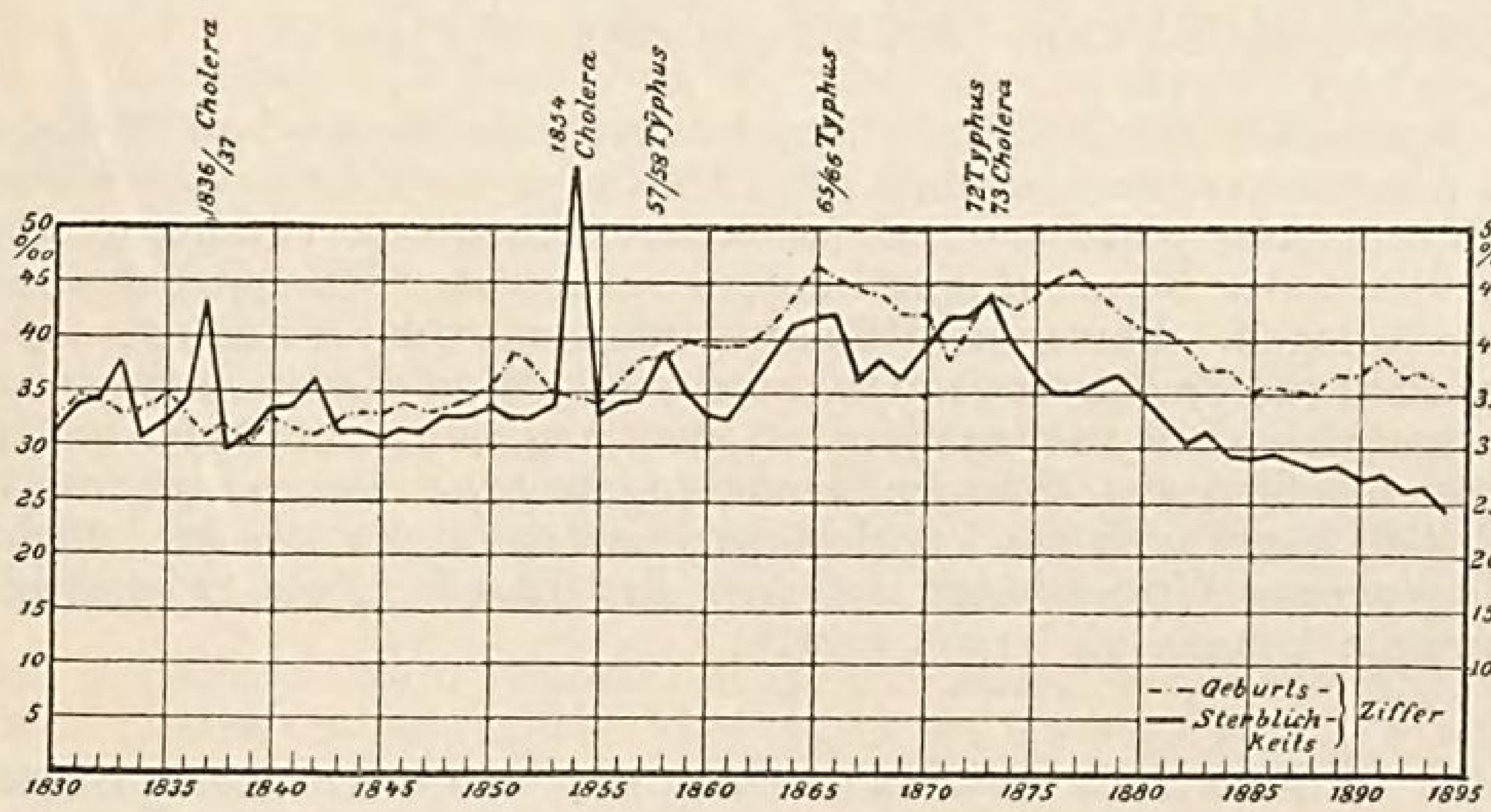
Die in den Rubriken stehenden Zahlen geben die Abweichungen vom durchschnittlichen Monatsmittel wieder. Da auch der Stand der Wasserläufe von Niederschlag und Evaporation abhängt, so muss (s. o.) auch ein gewisser Parallelismus in den Höhen des Fluss- und Grundwasserpegels zu bemerken sein. Wenn ein Beobachtungsplatz so gelegen ist, dass besondere Vorkommnisse, wie dies etwa für Salzburg und die alpine Schneeschmelze zutrifft, sich einflussreich geltend machen können, so ist auch eine besondere Berücksichtigung dieses Umstandes erforderlich [292]. Sogar die Bodenbeschaffenheit ist natürlich nichts weniger denn gleichgültig. Wollny beweist [293], dass bei andauernder Lufttrockenheit die Schwankungen von h um so grösser ausfallen, je geringere Mächtigkeit die durchlässige Bodenschicht besitzt, in welcher sich das Bodenwasser ansammelt, und dass eine lebende Pflanzendecke der Ansammlung dieses Wassers widerstrebt. Bezeichnet man, unter sonst gleichen Umständen, die Höhen in Quarzsand, Lehm, Kalkdetritus und Torf mit h_q, h_l, h_k, h_t, so ist $h_q > h_l > h_k > h_t$. Die Ermittelung der Grundwasserhöhe a priori müsste sonach als eine überaus verwickelte Aufgabe betrachtet werden.

Kenntnis dieser Höhen, die freilich am besten durch geeignete Beobachtung erlangt wird, ist nun aber von höchster Bedeutung für die Hygiene oder Gesundheitslehre (S. 361). Gestützt auf ein umfangreiches Thatsachenmaterial, konnte M. v. Pettenkofer [294] den fundamentalen Satz aufstellen: Ein gleichmässig hoher Grundwasserstand ist der Gesundheit förderlich, wogegen ein namhaftes Sinken eben dieses Niveaus, zumal dann, wenn auf kurzes Steigen eine ebenfalls energische und rasche Senkung folgt, mit dem Auftreten verheerender Volkskrankheiten Hand in Hand zu gehen pflegt. Was zunächst nur den Charakter einer statistischen Wahrheit trug, hat durch die moderne Bakteriologie (S. 363) auch eine ursächliche Begründung erlangt. Bei der erwähnten Bewegung des Grundwassers tritt eine weit ausgiebigere Durchfeuchtung der Bodenschicht ein, auf welcher der Mensch wohnt, als wenn nur die gewöhnliche Befeuchtung (S. 787) vorhanden ist, und in diesem Zustande ist der poröse Boden für die Aufnahme

und Konservierung der verschiedenen mikroskopischen Krankheitskeime weit geeigneter, als er dies an und für sich sein würde.

Wenn wir das Diagramm ins Auge fassen, welches Singer für die früher in sanitärer Richtung nicht mit Unrecht verrufene Stadt München nach v. Pettenkofers Daten [295] konstruierte, so sieht man greifbar vor sich, dass eine rationelle Assanierung des Bodens durch Kanalisation jene trefflichen Wirkungen ausübt, wie sie eben von F. Beetz [296] und Singer [297] im konkreten Falle zahlenmässig erwiesen wurden. Die Ordinaten in Fig. 158 entsprechen für die ausgezogene Kurve den Mortalitätsziffern; eine solche Uebereinstimmung mit dem Faktum, dass seit Durchführung der exakten Bodenentwässerung die jähen Schwankungen des Grundwasserstandes sich beträchtlich vermindert haben, kann unmöglich eine Sache des Zufalles sein. Was aber noch etwa fehlte, haben die Wahrscheinlichkeitsberechnungen L. v. Seidels [298] so exakt ergänzt, dass schon mit ihnen jeder Widerspruch gegen die Pettenkoferschen Aufstellungen schwinden musste. Neuerdings hat F. Lindemann [299] die Quintessenz dieser feinen Betrachtungen übersichtlich zusammengefasst: „Nächst den

Fig. 158.



allgemeinen Theorien v. Pettenkofers sind es die Rechnungen v. Seidels, denen die Stadt München es zu danken hat, wenn sie heute nach v. Ziemssens Ausspruche [300] als eine der gesündesten Städte Europas bezeichnet werden kann.“ Die Wahrscheinlichkeit dafür, dass Grundwasserstand und Typhussterblichkeit nichts miteinander zu thun haben', ist gleich 1 : 36 000, die entgegengesetzte also von der Gewissheit (= 1) kaum verschieden.

Was zunächst an dem freilich nur zu klassischen Beispiele Münchens erprobt war, hat auch in anderen Fällen diese Probe bestanden. Für Hamburg, welche Stadt von jeher Epidemien und endlich im Jahre 1893 einer furchtbaren Cholerainvasion unterlag, hat Brückner [301] einen analogen Zusammenhang aufgedeckt, obwohl ihm allerdings rapid einfallende Seuchen noch einen weiteren Erklärungsgrund zu erheischen scheinen. Daran schliesst sich die graphische Darstellung der Bewässerungs- und Krankheitsbezirke Hamburgs von W. Krebs [302]. Da, wo ein höherer Grundwasserstand die Infiltration des Bodens durch die Alster, Bille und Isebeck hintanhielt, konnte die Verseuchung keinen festen Fuss fassen, und auch das vergleichende Studium der gefährdeten Stadtquartiere in Dresden, Leipzig, Magdeburg und Berlin bekräftigte, wenn nur die Ortsverhältnisse gehörig beachtet wurden, die Lehren v. Pettenkofers.

Zur Messung des Pegelstandes müssen Brunnenschächte oder Bohrlöcher dienen. Man verwendete Schwimmapparate, als deren Vervollkommnung Krebs' Katometer [303], (κάτω, unten; μετρεῖν, messen) zu gelten hat. Dieses Instrument zeichnet die wechselnden Höhen des Grundwassers selbstthätig auf. Mit dessen Hilfe konnte die früher schon [304] vermutete Thatsache verifiziert werden, dass mit einem Steigen des Barometers eine Niveausenkung des Boden-

wassers korrespondiert. Auch die Temperaturveränderungen scheinen entsprechende Veränderungen der Grundwasserhöhen nach sich zu ziehen. — Desgleichen fordert die Bewaldung, was angesichts ihrer klimatologischen Bedeutung nicht auffallen kann, Berücksichtigung. Aus seinen südrussischen Beobachtungen zieht Ototzkij das Fazit [305]: „Bei Gleichheit sämtlicher geophysikalischer Bedingungen liegt das Grundwasserniveau in den Wäldern tiefer als in der umgebenden Steppe, oder, allgemeiner, in einem benachbarten waldlosen Gebiete.“ Zweifellos wird sich dies auch für Gegenden von normalem Charakter bestätigt finden.

Der Ingenieur, welcher sich mit der Anlage eines Wasserwerkes zu beschäftigen hat, welches nicht — wie etwa bei München oder Wien — den Quellenreichtum eines benachbarten Gebirgsterrains auszunützen vermag, hat eine doppelte Pflicht vor sich: Er muss den Grundwasserstrom seines Arbeitsbezirkes auffinden und er muss den aufgefundenen fassen. Diese Doppelthätigkeit beruht auf den Normen, welche vorstehend für die Grundwasserforschung aufgestellt, in der Anwendung aber natürlich noch mannigfachster Modifikation fähig sind. Wegen der Ergiebigkeitsberechnung, die ja den Praktiker mehr als andere Dinge zu beschäftigen hat, kann auf die Anweisungen von Darcy [306] und Thiem [307] verwiesen werden.

Ein Spezialfall von allgemeinerem Interesse ist durch die Bildung eines sogenannten Wasserkissens gegeben. Ein Erdrindenstück kann mit Wasser derart durchtränkt sein, dass plötzliche Bodensenkungen eintreten, verknüpft mit Wasseraustritten, die in der Nähe erfolgen und in Form von Fontänen das Grundwasser nach aussen bringen. Der grosse Häuserzusammenbruch in der posenschen Stadt Schneidemühl (1893) wurde von Ochsenius [308] in diesem Sinne interpretiert. Aehnliches hat sich auch in Venetien, in dem zugleich vom Meere und mehreren grossen Flüssen infiltrierten Schwemmlande zugetragen; das mesopotamische Erdbeben (I, S. 492) kann auch zur Vergleichung herangezogen werden. Nicht minder ist ein vollgesogenes Wasserkissen in seiner Art dasselbe, was wir oben (S. 782) als Erdschwamm kennen zu lernen hatten.

§. 6. **Physik der Quellen.** Da, wo Grundwasser spontan, ohne Zuthun des einen Brunnen erbohrenden Menschen, aus dem Boden hervortritt, hat man eine Quelle (source, spring oder fontain, fonte oder fontana) vor sich. Das Seihwasser oder aufquellende Wasser wird durch hydrostatischen Druck an die Oberfläche gebracht; an anderen Stellen ist es einfach der Zug der Schwerkraft, welcher das Grundwasser durch eine Oeffnung des Gesteines austreten lässt. Wir erörtern in diesem Paragraphen zwei Hauptfragen: Woher stammt das zuvor im Grundwasserstrome aufgespeicherte Quellwasser, und unter welchen verschiedenen Modalitäten gelangt dasselbe an die Oberfläche. Die Beschaffenheit dieser Wässer bleibt dagegen späterer Betrachtung vorbehalten. Neben dem schon genannten Buche von Lersch (S. 786) ist auch ein eigenes Kompendium der Quellenkunde von H. Haas [309] als sehr brauchbar hervorzuheben, und für die geschichtliche Entwickelung dieses Zweiges der physikalischen Geographie steht die tief eindringende Untersuchung von Wisotzki [310] als ein treffliches Beispiel für dergleichen Fälle zur Verfügung.

Die Quellenlehre der Griechen war eine Konsequenz der Naturbeschaffenheit ihres Landes. Durch und durch verkarstet, von unterirdischen Wasserläufen durchzogen, musste es, wie C. Neumann [311] treffend ausführte, die Vorstellung begünstigen, dass alle Meere unter sich (vgl. S. 526) und mit den Gewässern des Festlandes durch ein verzweigtes Kanalnetz zusammenhingen und auch das Wasser der Quellen lieferten. Von dieser Idee wird die

sogenannte Schwammtheorie des gesamten Mittelalters getragen, aus dem Grunde so genannt, weil man die Erdkugel gewissermassen als einen mit Wasser vollgesogenen Schwamm ansah, aus dessen Poren jenes infolge von örtlichen Veränderungen des hydrostatischen Gleichgewichtes ausgepresst werden sollte. Nur sehr spärlich dachte man rationeller, und so adoptierte denn auch das Mittelalter, dessen Abhängigkeit von der Antike in Kretschmers eingehender Darstellung [312] auch hier deutlich genug hervortritt, die erwähnte Auffassung, die noch dadurch mundgerechter wurde, dass nach Aristoteles (S. 432) Salzwasser durch Filtrierung ausgesüsst wurde. Hiezu aber schien beim Durchpassieren des Meerwassers durch so viele Spalten und Kapillarröhren reichlich Gelegenheit geboten zu sein. In Dantes Schrift (I, S. 12) „De aqua et terra" steht diese Lehre noch beherrschend da, wie man aus W. Schmidts Monographie [313] ersieht, und sein etwas jüngerer Zeitgenosse Ristoro erklärt [314] mechanisch das Aufsteigen des Wassers in den Quellsträngen der Gebirge („Della cagione come l'acqua sale nelle monti, e della cagione, perchè ella vi sale"). Albertus Magnus, Gregor Reysch (in der „Margaritha philosophica"), Lionardo da Vinci, Chiaramonti, selbst Varenius vertreten einen analogen Standpunkt [315], obschon letzterer sich selber Einwürfe macht. Die Terminologie, deren man sich zur Kennzeichnung der verschiedenen Möglichkeiten bedient, ist eine überraschend vielgestaltige. Aber auch modernere Schriftsteller, wie der ebenso unterrichtete als phantasiereiche Kühn [316], vermögen sich von der alten Ueberlieferung noch nicht loszureissen. Mit Vorliebe brachte man die Frage, wie denn das in den unterirdischen Hohlräumen (Hydrophylakien) kursierende Wasser zum Aufsprudeln gezwungen werden könne, in Verbindung mit der durch Jahrhunderte nicht auszurottenden Irrlehre (I, S. 143), dass die Wasseroberfläche weiter vom Erdschwerpunkte als die Landoberfläche abstehe, und damit schien die Notwendigkeit einer Aufpressung gesichert zu sein [317]. Mit voller Bestimmtheit scheint nach Wisotzki [318] jener B. Palissy, den wir als Palaeontologen ehrend zu nennen (S. 675) verpflichtet waren, der überkommenen Anschauung widersprochen zu haben („ce qui n'est pas") [319]. Bald nachher eigneten sich die jesuitischen Väter des Kollegiums von Coimbra die vernünftigen Argumente gegen jenes Dogma von der Nichtkoinzidenz der Schwerpunkte der Land- und Wassersphäre an [320]. Gegen die Mitte des XVII. Säkulums verschwindet dasselbe aus der Litteratur.

Eine auffallend klare Einsicht in den Prozess der Quellbildung haben wir bei dem römischen Baumeister Vitruvius zu konstatieren. Er stellte [321] als erster die Behauptung auf: Das in Quellen austretende Wasser ist zuvor als Regenwasser in den Erdboden eingedrungen. Der sonst so klar denkende Seneca suchte diesen Satz damit zu widerlegen [322], dass das vom Himmel kommende Wasser nur die obersten Schichten des Erdreiches, Felsgestein aber gar nicht durchfeuchte. Selbständig entdeckte den wahren Sachverhalt wieder J. Vossius, der, nachdem er die Möglichkeit einer Speisung der Flüsse aus subterranen Wasserbehältern energisch abgelehnt hat, es als seine Ueberzeugung ausspricht [323], „omnia flumina ex collectione aquae pluvialis oriri." Dadurch ist er dann auch in den Stand gesetzt, zu erklären [324], „unde fiat, ut plures in montibus quam in locis planis inveniantur fontes?" Gleichwohl kann mit einigem Rechte, wie es gewöhnlich geschieht, der bekannte Physiker Mariotte (I, S. 17) als Begründer der gangbaren Theorie bezeichnet werden, weil er dieselbe durch Experimente und rechnerisch-statistischen Nachweis einleuchtend machte [325]. Die gründlichsten Mitteilungen über Mariottes Arbeit und die zeitgenössische Bewegung, deren Mittelpunkt sie bildet, finden wir bei J. C. Fischer [326]. Es waren namentlich Perrault und De la Hire, welche Mariottes Ansichten betreffs namhafter Permeabilität (Durchdringbarkeit) der obersten Erdlagen bekämpften [327]. Doch rang sich die Mariottesche Quellenlehre langsam durch, und zwar trug hiezu nicht am wenigsten De la Métherie bei, auf den die klare Formulierung eines hydrologischen Fundamentalsatzes zurückgeht [328]. Von allem aus der Luft zur Erde gelangenden Wasser wird letzterer ein Teil gleich wieder durch Verdunstung entzogen; ein zweiter Teil rinnt oberirdisch zu grösseren Wasseransammlungen ab; ein dritter Teil endlich dringt in den Erdboden ein und liefert den Stoff zu den Quellen. Durch neuere Forschungen ist die Wahrheit dieses Lehrsatzes, denn als solchen müssen wir ihn auch heute noch betrachten und beweisen, über allen Zweifel erhoben worden. Auch festes Gestein nimmt Wasser auf; man ist im Besitze einer Experimentaluntersuchung, welche v. Pettenkofer und

C. Lang durchgeführt haben [329], und aus der erhellt, dass es ganz wasserundurchlässigen Fels überhaupt nicht gibt, wenn auch natürlich die Aufnahmefähigkeit erhebliche Abweichungen bekundet. Gravés Tabelle [330] zeigt z. B., dass Sandstein des Wienerwaldes nur doppelt, nordböhmischer Sandstein dagegen achtmal so viel Wasser als Karstmarmor aufzunehmen im stande ist. Auch der Umstand, dass Tropfstein- und Eishöhlen (S. 754) in ihrem Vorkommen an gar keine Gebirgsart gebunden sind, spricht für die Permeabilität als allgemeine Eigenschaft. Was der Bergmann Gebirgsfeuchtigkeit (auch Bergschweiss) nennt, fehlt niemals [331]; ein jedes irgendwo ausgebrochene Gesteinstück verliert in der Luft an Gewicht, weil das zuvor absorbierte Wasser verdunstet und in die Atmosphäre übergeht. Wer sich einen deutlichen Begriff machen will von der gewaltigen Menge der in einem begrenzten Gebirgsstocke umfliessenden und gelegentlich durch Quellöffnungen hervorbrechenden Gewässer, der ziehe das Werk von Stapff [332] über den St. Gotthard zu Rate, worin die einzelnen Formationen und petrographisch verschiedenen Gesteinsarten dieses Massives auf ihr Verhalten gegenüber dem eindringenden Wasser geprüft werden. Die durch exakte Messung gewonnenen Zahlen sprechen eine sehr beredte Sprache [333]. Ein Bruchteil a des in wasserführendem Fels („terrain aquifère“) angesammelten Wassers fliesst aus; ein zweiter Bruchteil b verbleibt dauernd im Inneren, und Stapff hat [334] a und b durch eine zahlenmässige Relation miteinander verknüpft. — Der eine der älteren Einwürfe, dass nämlich das einsickernde Regenwasser zur Ernährung der Quellen nicht ausreiche, ist damit ausreichend entkräftet; der andere, dass gar nicht so viel Regen falle, um die vorhandenen Quellen zu speisen, fand seine Widerlegung durch die moderne meteorologische Forschung. Wir stützen uns jetzt auf Murrays [335] Berechnung der im Jahre durchschnittlich zur Erde niederfallenden Regenmenge; es sind dies 122 500 ckm Wasser, die, auf 145 000 000 qkm Erdoberfläche verteilt, eine zusammenhängende Wasserschicht von etwa 0,84 m gleich bleibender Höhe liefern würden. Wir kommen auf diese hochwichtige Arbeit später, bei den Flüssen, nochmals zurück und begnügen uns für jetzt mit der — in gewissen Rechnungsgrenzen unzweifelhaft gesicherten — Thatsache, dass etwa 27 000 ckm Feuchtigkeit fortwährend zwischen Festland und Meer hin und her wandern und den Quellfluss in Thätigkeit erhalten.

Die Schwammtheorie (s. o.) hat zu gunsten der meteorischen Theorie, wie wir die des Vitruvius und Mariotte nennen können, weichen müssen, und letztere würde in diesem Jahrhundert unangefochten ihre Herrschaft behauptet haben, wenn nicht in der Kondensationstheorie eine auch schon recht alte Hypothese wieder zu — allerdings nur vorübergehendem — Leben erstanden wäre. Dass das Wasser durch Kondensation von Dünsten — „halitus“ beim bergbaukundigen Agricola (I, S. 16) — entstehe, war, wie Wisotzki darthut [336], seit dem XVI. Jahrhundert mehrfach vermutet worden, indem man dabei auch auf Seneca (s. o.) zurückgriff. Der geniale Gassendi [337] nahm zwar an, dass das atmosphärische Wasser mitwirke, aber es verdunste beim Versinken und trage so bei zu der Bildung unterirdischer Dampfmassen, zu denen auch das Meer sein Kontingent liefere, und die in grossen Sammelbecken verdichtet würden. Gegen das Ende des XVII. Jahrhunderts schlummert die Verdichtungstheorie ein [338]; ihr Wiedererwecker war O. Volger [339], der sich dahin aussprach: Während nur minimale Mengen des Quellwassers den Niederschlägen entstammen, entsteht dasselbe der Hauptsache nach durch Kondensation des Wassergases, welches in der vom Erdreiche aufgesaugten Luft enthalten ist. Schon Halley hatte [340] einen ähnlichen Standpunkt eingenommen, indem er nur insofern abwich, als er das Flüssigwerden der Dünste teilweise schon bei äusserlicher Berührung mit dem kälteren Boden vor sich gehen liess. Volger kamen der Geologe Mohr [341] und die Experimentalstudien [342] von Sonntag und Jarz zu Hilfe, aber vor den scharfen Kritiken Hanns [343] und Wollnys [344] konnte die Bodengastheorie nicht standhalten. Hann bewies, dass während eines ganzen Monates in Wien für eine Bodenschicht von 30 m Mächtigkeit bloss ungefähr 3 cm Luft zirkulierten, deren Wassergasgehalt somit gar nicht in Betracht kommen kann, und Wollny wies darauf hin, dass Volger irrtümlich die im Boden verschwundene Oberflächenfeuchtigkeit als der Aussenseite durch Verdunstung entzogen angenommen hatte. Volger, der übrigens den Grundgedanken seiner Lehre bei Aristoteles zu finden glaubte [345], ist später nochmals lebhaft für dieselbe eingetreten [346], ohne doch die ihr gegenüberstehenden Bedenken beseitigen zu können.

Aus dieser unserer vergleichenden Musterung der vorhandenen Quellentheorien ergibt sich als die weitaus einfachste und physikalisch einwandfreiste die folgende: Das von Regen und Schnee gelieferte Niederschlagswasser findet unzählige Wege zu tieferen Horizonten der oberen Erdschichten, sammelt sich auf den niemals ganz fehlenden undurchlässigen Schichten an und fliesst in der Mehrzahl der Fälle längs der geneigten oberen Grenzfläche einer solchen Lage hin, bis es eine Austrittsöffnung findet. Dies ist der normale Verlauf der Quellbildung. Man spricht dann auch von absteigenden Quellen, deren Verhältnisse einzig der natürliche Zug der Schwere regelt, wogegen aufsteigende Quellen einer besonderen Erörterung unterliegen müssen. Wenn die impermeable Schicht nicht einfach geneigt, sondern von unregelmässiger Gestalt ist, so können besondere Quellformen das Resultat sein [347]. Liegt ein Thalboden tiefer als die Ränder einer jener Oberfläche eingelagerten Wanne, so tritt das in dieser angesammelte Wasser als Spaltquelle aus. Die Ueberfallsquellen entstehen, wenn hydrostatischer Druck das aufgestaute Wasser durch einen Felsspalt presst. Hierher kann man auch Gravés Verwerfungsquellen rechnen; durch Absinken einer Scholle kam wassersattes oder relativ (s. o.) undurchlässiges Gestein neben poröses zu liegen, und dann staut sich in letzterem die Flüssigkeit so lange, bis eine Oeffnung erreicht ist. Interessante Fälle von Ueberfallsquellen aus dem pfälzischen Buntsandstein sind uns durch Leppla [348] bekannt geworden.

Wer dem Gesagten zufolge das Verhalten einer Quelle studieren will, muss auf folgende Momente sein Augenmerk richten [349]: die Grösse des Nahrungssammelgebietes, das Quantum der diesem Areale in bestimmten Zeiträumen zugeführten Niederschlagsmenge, die Lagerungsverhältnisse und die petrographische Zusammensetzung der Gesteine des Untergrundes und den orographischen Charakter der Bodenfläche. Die Gesamtheit aller der Wasseradern, welche zur Bildung einer wirklichen Quelle zusammenwirken müssen, bezeichnen wir mit v. Sonklar [350] als Quellenwurzelsystem.

Die chemische Beschaffenheit des Quellwassers hat uns hier noch nicht zu beschäftigen, wohl aber dessen Temperatur. Nachrichten über Quellentemperaturen brachte Kämtz [351] zusammen, und Muncke sah sich bereits in der Lage [352], ein recht umfängliches Verzeichnis vorzulegen, zu welchem insonderheit auch Wahlenbergs [353] ältere Messungen ihren Beitrag geliefert hatten. Sehr systematisch ist A. Schlagintweits Aufsatz [354] über diesen Gegenstand gehalten, der alle klimatischen und lokalen Bedingungen untersucht, welche auf die Wasserwärme Einfluss nehmen können. Die Abhängigkeit jener von der Höhenlage wurde durch Daubrée [355] vielseitig ventiliert; speziell für das linksrheinische Gebirge beträgt die Temperaturabnahme in geringen Höhen 1° auf 200 m, von 300 m ab nur noch rund 1° auf 120 m. Dass schmelzender Schnee abkühlend, Mineralzersetzung zumeist erwärmend wirkt (I, S. 336), leuchtet von selbst ein. Schuttquellen, einerlei, ob es Thal- oder Gehängequellen sind, wurden von C. Gruber [356] durchweg als verhältnismässig kalt befunden; den Grund werden wir in der Verdunstungskälte, ähnlich wie beim Eisgerölle (S. 755), zu suchen haben. Da, wo ein Wasserlauf sich in einem Schuttlager verlor, an der Versitzstelle, stand das Thermometer immer um ein paar Grade höher, als an dem Orte des Austrittes aus der Schuttdecke.

Besonderes Interesse flössen uns die Thermalquellen (θέρμη, Wärme) ein [357], die man, um anzudeuten, dass ihre Temperatur die mittlere Jahrestemperatur ihres Ausflussortes beträchtlich übertrifft, nach dem Vorgange von K. Fuchs [358] auch absolute Thermen nennen mag. Darüber, dass heisse Quellen ausschliesslich in vulkanischen Territorien, in jungvulkanischen noch häufiger als in altvulkanischen, vorkommen, kann nach Daubrées Feststellungen

(s. o.; I, S. 376) kaum mehr Ungewissheit herrschen. Der Umstand, dass die Ursache eine so konstante ist, wirkt am überzeugendsten; nimmt einmal die Wärme ab, und es gelingt, den Grund hiefür zu ermitteln und wegzuschaffen, so tritt die alte, von den nachglühenden Essen unter der Erde beeinflusste Temperatur wieder in ihr Recht, wie dies Beissels [359] Bericht über eine Quellenverstopfung bezeugt. Temperaturschwankungen kleineren Betrages sind selbstverständlich keine Seltenheit, so dass die üblichen Zahlen nur als Mittelwerte betrachtet werden dürfen. Auch muss die Temperaturmessung regelmässig an der nämlichen Stelle vorgenommen werden. Als Maximum der Temperaturschwankung führt Lersch [360] eine der Quellen des Herkulesbades (bei Mehadia im südöstlichen Ungarn) an, wo dieselbe sich zwischen 17° und 41° bewegen soll. Thatsächlich reines, von mineralogischen Beimengungen fast gänzlich freies Wasser liefern die indifferenten Thermen („Wildbäder"); dahin gehören Wildbad in Württemberg, dessen Quellursprung Regelmann [361] in 870 m Tiefe sucht, Gastein, Leuk, Baden bei Wien u. s. w. Die heissesten Thermen besitzt wohl Neu-Seeland [362]. Die neueren Aerzte huldigen der Ueberzeugung, das wesentlich bloss die anregende und belebende Wirkung dieser Hitze auf Nerven und Stoffwechsel die Heilerfolge solcher Bäder gewährleistet [363]. Die Bedeutung heisser Bäder hat das klassische Altertum, ebenso wie das Russland von heute, sehr hoch gewürdigt, und der Japaner setzt sich in den zahlreichen Schwefelthermen seines Landes Wärmegraden aus, vor denen der Europäer zurückschaudern würde.

Nachstehend werden einige von Haas [364] angegebene Normaltemperaturen bekannter Thermen mitgeteilt (in C.-Graden):

Aachen (Kaiserquelle)	55	Plombières	71
Wiesbaden (Kochbrunnen) . . .	69	Bath (Maximum)	48,9
Baden-Baden (Hauptquelle) . .	68,6	Baden i. S. (Mittel)	48
Wildbad (Mittel)	37,4	Leuk	51
Teplitz	48	Pfäffers (an Ort und Stelle) . .	37,5
Karlsbad (Sprudel)	73,8	Abano in den Euganeen (I, S. 395)	84,5
Gastein (Maximum)	49,6	Lucca	54
Mehadia (Maximum)	62,5	Pjätigorsk im Kaukasus (Maximum)	47,5

Die für Teplitz normierte Zahl bezieht sich auf die Zeit vor der grossen Wasserkatastrophe, welche Laube [365] und v. Hauer [366] geologisch untersucht haben. Im Duxer Schachte, der von dem Badeorte doch immerhin ziemlich entfernt ist, ereignete sich am 10. Februar 1879 ein gewaltiger Wassereinbruch, wie solche — man vergleiche einen Nachweis hierüber, auf das Jahr 1158 bezüglich, bei Hoernes [367] — in Gruben zum öfteren vorkommen, und alsdann blieben die Teplitzer Quellen aus (vgl. I, S. 447); zwar gelang durch geeignete Massnahmen die Abwehr des Schlimmsten, aber die frühere hohe Temperatur ist seitdem nicht wieder erreicht worden.

Die Aufgabe, Quellen zu entdecken, wurde nur allzu häufig von der Charlatanerie in die Hand genommen; sogar die Wünschelrute (I, S. 574) musste diesem Zwecke dienen. Die moderne Geologie, welcher in gewissem Sinne der von Emsmann [368] in diesem Sinne geschilderte Quellenfinder Abbé Paramelle vorarbeitete [369], hat rationelle Wege gewiesen, wie man die oberste Wasser führende, von Daubrée [370] als phreatisch (φρέαρ, Brunnen) bezeichnete Schicht ermitteln und anbohren kann. Wenn man auf den Quellenhorizont gelangt ist, offenbart sich bald die geringere oder grössere Ergiebigkeit der angezapften Wasserschicht; auch können parallele Lagerungen wasserhaltiger Schichten nach und nach eröffnet werden, wie Haas [371] am Untergrunde der steiermärkischen Stadt Fürstenfeld zeigt. Wo starke Naturquellen bergigem Terrain entströmen, da wird man am besten mit einer Hochquellenleitung zur Stadtversorgung einsetzen, um durch hydrostatischen Druck auch in die oberen Stockwerke der Gebäude Wasser zu bringen (Mangfall-Quellgebiet bei München). Da, wo den grössten Teil des Jahres über

Schnee liegt, ist, wie Heims [372] Hinweis auf den Aetna im trockenen Sizilien erläutert, auf dauernd fliessende Naturbrunnen zu rechnen.

§. 7. **Chemie der Quellen.** Teils mechanisch durch Ausnagung, teils chemisch durch molekulare Einwirkung rauben die Quellen, je rascher sie fliessen und je wärmer sie sind natürlich um so mehr, dem durchströmten Gesteine einen nicht unbeträchtlichen Bestandteil seiner selbst. Die Feststellung der solchergestalt dem Quellwasser beigemengten oder von ihm absorbierten Festkörperstoffe ist Sache des Chemikers. Wir verweisen auf die entsprechenden Darstellungen bei G. Bischof [373], Lersch [374] und Haas [375]. Durch nachgeahmte Zerlegung der Gesteinsarten im Laboratorium vermochte zuerst Struve [376] seine bekannten künstlichen Mineralwässer zu erzeugen.

Die Quantitäten von ausgelaugtem Gesteine, welche durch die Quellen den Gebirgen entzogen werden, sind so gross, dass eine auch nur oberflächliche Schätzung überraschende Ziffern liefert. Nach Ramsay-Lyell [377] müssten die Sulphate und Chloride (vgl. S. 540) der Quellen von Bath einen festen Körper von 1170 cbm Inhalt liefern können. Auch das Auge kann diesen Prozess kontrollieren, wie von Lersch [378] namhaft gemachte Belege bezeugen. „Bei dem Wiesbadener (nicht alkalischen) Kochbrunnen und bei dem Walbacher (alkalischen) Schwefelbrunnen fand man in den oberen Tiefen des Zuführungskanales mehr oder minder bedeutende Höhlungen, die man zum Teile als eine Folge vorheriger Auflösung des Gesteines anzusehen berechtigt ist.“ Auch Bischof [379] richtet auf solche Aushöhlungsvorgänge sein Augenmerk.

Als absorbierte Substanzen kommen am meisten in Betracht Sauer-, Wasser- und Stickstoff. Hierüber, sowie über die anderen chemischen Grundstoffe in den Mineralquellen gibt Daubrée [380] genaue Aufschlüsse. Schwefel gehört zu den häufigst vorkommenden Ingredientien, wie dies besonders die berühmten Schwefelkrystalle der Aachen-Burtscheider Quellen beweisen [381]; Chlor findet man in freiem Zustande höchstens in vulkanischen Fumarolen (I, S. 375); Brom und Jod treten häufig verbunden auf (Krankenheil bei Tölz in Oberbayern); Phosphor ist weit verbreitet; Bor wird durch die toskanischen Gasquellen in grossen Mengen geliefert. Die mit Borsäure geschwängerten Dämpfe, Soffioni genannt, entströmen massenhaft dem Boden und erzeugen kleine Pfützen, deren Wasser viel Borsäure enthält [382]. Silicium ist ein besonders verbreiteter Bestandteil; auch Kalium und Natrium sind nicht selten zu finden, und Lithium, eines der kräftigsten Mittel gegen gichtische Leiden, macht Salzschlirf, und vor allem die Obersalzbrunner Kronenquelle (Schlesien), zu besonders bekannten Heilstätten [383]. Magnesiasulfat, meist in Verbindung mit schwefelsaurem Natron, zeichnet gewisse ungarische Bitterwässer (Gran und Hunyady-Janos) aus [384]. Endlich ist auch Eisen ein notwendiger Bestandteil aller derjenigen Brunnen, welche der Regulierung und Stärkung des Blutbereitungsapparates dienen (Rippoldsau, Elster, Franzensbad, Selters, Pyrmont, Reinerz, Brückenau und Bocklet). Eine Zusammenstellung der in den einzelnen Wässern gelösten Mengen kohlensauren Eisenoxyduls kann bei Lersch [385] nachgesehen werden. Das Vorkommen von Helium und Argon (vgl. S. 16) ist sowohl in den Nauheimer Quellen als auch in den toskanischen Soffioni (s. o.) und in den Thermen von Abano (S. 796) durch Nasini, Anderlini und Salvadori nachgewiesen worden [386]. — Die Balneologie (balnea, Bad) unterscheidet [387] sieben Haupt- und zahlreiche Untergruppen, nämlich einfache Säuerlinge, alkalische Quellen (alkalische im engeren Sinne, alkalisch-salinische oder Glaubersalzquellen, alkalisch-muriatische; von mura, Salzsäure), Eisenquellen, Kochsalzquellen, Bitterwässer, alkalisch-erdige Quellen und Schwefelquellen. Noch strenger wissenschaftlich ist Daubrées Klassifikation [388]: Quellen mit Chlormetallen (d. h. mit Chlornatrium, Chlorcalcium oder Chlormagnesium), Quellen mit freier Salzsäure, Quellen mit freier Schwefelsäure (in Japan vorkommend), eigentliche Schwefelquellen, Quellen mit Sulfaten (von Natrium, Calcium, Magnesium, Aluminium, Eisen und gemischten Sulfaten), Quellen mit Karbonaten (von Natrium, Cal-

cium, Eisen und gemischten Karbonaten), endlich Quellen mit Silikaten. — Die ärztliche Wissenschaft, wie sie etwa in den Werken von Osann [389], Lersch [390], Ditterich [391], Flexig [392] und, unter dem physisch-chemischen Gesichtspunkte, namentlich bei Goldberg [393] zur Sprache kommt, hat die Verwendung der einzelnen Heilquellen für den besonderen Krankheitsfall zu prüfen, und es ist nicht zu leugnen, dass zwischen der Balneologie (Balneotherapie) und der physischen Geographie gar manche Berührungspunkte bestehen. Der chemisch gebildete Forscher wird mit besonderem Vorteile die nach neuen Normen erfolgte Einteilung v. Thans [394] zu Rate ziehen. — Von der hergebrachten Erklärung der Kohlensäuresprudel weicht Gintl [395] ab, indem er dieselben mit der Bildung von Mooren und Braunkohlenlagern in ursächliche Verbindung bringt, angeregt durch den nicht zu leugnenden Umstand, dass im nördlichen Böhmen diese Vorkommnisse räumlich durchaus zusammentreffen.

Studien über Zusammenhang der Wasserbeschaffenheit mit der geognostischen Zusammensetzung des Quellgebietes sind mehrfach angestellt worden. Die ersten rühren her von dem Chemiker v. Gorup-Besanez [396]; zusammengefasst und mit eigenen Ergebnissen bereichert hat die erzielten Thatsachen Schwager [397], bei dem wir u. a. dem Satze [398] begegnen: „Unter annähernd gleichen petrographischen Bedingungen nimmt der Gehalt von der Höhe zur Tiefe zu, wie er auch, bei gleicher Annahme, mit steigendem Alter der durchflossenen Schichten fällt." Alle Urgebirgsquellen stimmen nach Metzgers Analysen [399] überein in sehr geringer Menge von Trockenrückstand, sowie in hohem Alkali- und Kieselsäuregehalte. Besonders Granit- und Phyllitgebiete (S. 671) liefern ein sich durch Reinheit auszeichnendes Quellwasser.

Wenn man erwägt, dass die Gase von Hause aus kein Teil der ausströmenden Erdgewässer sind, sondern von diesen lediglich als verschluckte Fremdstoffe zurückgehalten werden, so werden wir von vornherein erwarten dürfen, dass der Druck der umgebenden Luft sich bezüglich der Ergiebigkeit der ausgeschiedenen Mengen nicht gleichgültig verhalten werde. Diese theoretische Erwartung ist durch die Erfahrung vollkommen bestätigt worden, wie an anderem Orte [400] näher gezeigt werden konnte. Es gilt dies zwar nicht ausschliesslich von den Mineralquellen, aber für sie doch in ganz hervorragendem Maſse. Sogenannte Barometerbrunnen glaubte Scheuchzer [401] (s. S. 724) mehrfach in der Schweiz aufgefunden zu haben, und in einem von ersterem veröffentlichen Schreiben pflichtete ihm Valisnieri bei, ein Gelehrter, der nach Lyell [402] überhaupt sich um die Quellenkunde grosse Verdienste erworben hat. Von dem berühmten Mediziner Cartheuser ist uns der Ausspruch aufbehalten [403]: „Memorari hoc loco merentur fontes barometrici, Wetterbrunnen, qui pluvia imminente turbidi evadunt, restituta autem coeli serenitate pristinam limpiditatem recuperant et sic mutationes tempestatis praesagiunt." An mineralischen Quellen, nämlich an den Schwefelthermen von Volterra (bei Pisa), hat zuerst Baccius [404] die analoge Wahrnehmung gemacht. Bromeis suchte [405] eine numerische Abhängigkeit der Sprunghöhe der Nauheimer Springquellen vom aktuellen Luftdrucke auszumitteln; Cartellieri stellte ebenso fest [406], dass die Abflussmenge des Franzensbader Eisensäuerlings umgekehrt proportional dem Stande des Barometers wächst und abnimmt; G. Bischof wies [407] die Volksansicht, dass Gassprudel bei schönem Wetter weniger ergiebig als bei Gewitterstimmung der Luft seien, als berechtigte Konsequenz des in Rede stehenden Naturgesetzes nach; Henrich endlich leitete [408] rechnerisch den Satz her: Die Menge des aus mit Gas beladenen Wassern in der Zeiteinheit ausgeschiedenen Kohlengases ist dem augenblicklichen Luftdrucke umgekehrt proportional. Mittelst dieser Formel kann man nach Henrich auch die Intermittenz eines im trachytischen Karpathengebirge vorkommenden Gasbrunnens erklären, den Ludmann [409] beschrieben hat, und der offenbar mit der berühmten pausierenden, Arsen und Lithium (s. o.) enthaltenden Sprudelquelle von Neuenahr [410], der einzigen alkalischen Therme Deutschlands, viele Aehnlichkeit hat. Auch die sehr merkwürdigen Naturgasbrunnen von Wels in Oberösterreich, welche der als Schlier bekannten, von E. Suess [411] einlässlich gekennzeichneten Tertiärlage entspringen und durch die Bemühungen v. Oefeles [412] für Gasbeleuchtung in grösserem Masstabe nutzbar gemacht wurden, stehen, wie die detaillierten Untersuchungen G. A. Kochs [413] ergeben haben, in engem Zusammenhange mit der Luftschwere, welche ihre Ausströmungsenergie reguliert. — Auch die Niederschlagsmenge hilft die Quellenergiebigkeit bestimmen, nicht allein bei den gewöhnlichen Süsswasserquellen, für die es sich nach

der angenommenen Quellbildungslehre von selber versteht, sondern auch für die mineralischen Ausflüsse. Bezüglich der ersteren kann auf die Angaben von G. Müller [414], bezüglich der an zweiter Stelle genannten auf diejenigen von F. Steiner [415] verwiesen werden. Man glaubte durch Zurückhaltung des Wildwassers die Stärke der Biliner Quellen (Hauptbestandteil kohlensaures Natron) zu vermehren, musste sich aber überzeugen, dass bei ausgiebigerem Regen die Sprungkraft des Gaswassers geradezu wuchs. — So spricht sich denn in allen Quellen, wie sie auch immer beschaffen sein mögen, die Einwirkung des meteorologischen Gesamtzustandes aus, und v. Lupin hatte [416] wohl nicht unrecht, wenn er aus den Resultaten seiner fleissig durchgeführten Bestimmungen der Wärmeverhältnisse alpiner Quellen den Schluss zog, auch die Quellentemperaturen könnten als ein Hilfsmittel zum Studium umfassender Klimaschwankungen (Abteil. V, Kap. IX) tauglich befunden werden.

Einige besonders nennenswerte Fälle von Mineralquellen mögen hier noch besprochen werden. Ein merkwürdiger Fall von Intermittieren (Aussetzen) wurde bei einem rheinischen Naturbrunnen (von Hoenningen; Hubertusquelle) konstatiert [417]; die Pausen dauern immer $^1/_4{}^m$ bis $^3/_4{}^m$, worauf jeweils ein Ausbruch erfolgt, der $1^1/_2{}^m$ bis 2^m in Anspruch nimmt. — Die Triebkraft sucht solchen Wässern, die noch keinen Zugang zur Erdoberfläche gefunden haben, einen solchen zu eröffnen, und so ist es kein Wunder, dass nach Erdbeben neue Thermen und Gassprudel zu den vorher etwa schon vorhandenen hinzutreten. Im Bädergebiete von Aedipsos (Αἰδηψος), über dessen Eigentümlichkeit bei Neumann-Partsch einlässlich gehandelt wird [418], sind nach länger dauernder Erschütterung des Bodens neue heisse Quellen aufgebrochen [419]. — Ganz besonders reich an bemerkenswerten Vorkommnissen ist Amerika. Wir erwähnen des Asphaltbrunnens von Venezuela, den v. Eggers [420] uns kennen lehrte, und der mit den Pechquellen der Insel Zante, wie sie Mitzopulos [421] beschrieb, unverkennbare Familienverwandtschaft aufweist. Weitaus grossartiger jedoch sind die Naturgasquellen des nordamerikanischen Staates Indiana, das Objekt einer höchst ausführlichen Monographie von Phinney [422]. Ungemein hoher Wasserdruck ist es, der die Gase zum Entweichen nötigt; der Gasdruck ist mehrfach nach neuen Methoden gemessen worden [423]. Wenn auch für die ausbeutende Praxis noch nicht so bedeutsam, wie das gigantische Petroleumfeld Pennsylvaniens, welches uns vom Raths Skizzen [424] bequem zugänglich machten, ist das Gasrevier von Indiana — und teilweise auch von Ohio — unter dem naturwissenschaftlichen Gesichtspunkte nicht minderer Beachtung würdig.

Stark mineralisches Wasser wird hart, mineralarmes wird weich genannt. Als Trinkwasser ist hartes Wasser nicht ungeeignet, wohl aber als Waschwasser, weil die Mineralbestandteile die Seife am Aufschäumen verhindern; Regenwasser ist deshalb zu gedachtem Zwecke dem Quellwasser vorzuziehen. Anweisungen zur Bestimmung der Härte des Wassers haben seit Th. Clark [425], der damit voranging, Boutron und Boudet [426], Fehling [427], zumal aber J. König [428] gegeben; Haas erteilt [429] hierüber näheren Aufschluss. Nach Fehling hat das Wasser den Härtegrad n, sobald 100 g Wasser $\frac{n}{1000}$ g Calciumoxyd oder ihm ähnliche Bestandteile enthalten. Für $n \leq 18$ ist das Wasser auch zum Trinken nicht mehr zu empfehlen, noch weniger natürlich zum Wirtschaftsgebrauche. Das Königsche Verfahren gibt den Härtegrad m, wenn im Liter Wasser a mg Kalk und b mg Magnesia enthalten ist, und wenn man m durch die Formel $(a + 1{,}4\,b) : 10$ gefunden hat.

Alle Quellen, welche mit Kalk oder Kieselsäure beladen sind, besitzen die Tendenz, festes Gestein, Kalktuff und Kieselsinter, zu bilden. Kalksulfat kommt noch häufiger vor, als Kalkkarbonat. Die theoretische Seite des Vorganges beleuchten an der Hand zahlreicher Beispiele die Fachschriftsteller, unter denen G. Bischof [430] und J. Roth [431] an erster Stelle zu nennen sind. Einen guten Ueberblick gewährt wiederum das Buch von Haas [432]. Aus den generellen Untersuchungen von Weed [433] geht hervor, dass vier Momente bei dieser Absonderungserscheinung, die übrigens bei kieselsäurehaltigen Gewässern öfter und grossartiger als bei kalkhaltigen

beobachtet werden kann, ihre Rolle spielen; dies sind Druckverminderung, Abkühlung, chemische Reaktion und pflanzliches Leben. Durch Algen wird der Versinterungsprozess besonders unterstützt; durch Moose auch, aber nicht im gleichen Grade.

Der sogenannte Travertin (nach der Stadt Tibur in Latium von den Römern lapis tiburtinus genannt) ist eine Kalktuffbildung, deren Abhängigkeit von Algen und Wassermoosen Cohn [434] überzeugend dargethan hat; ohne sie würde der grotesk den berühmten Wasserfall von Tibur (Tivoli) einrahmende gelbliche Fels, aus dem viele Prachtgebäude Roms aufgeführt wurden, gar nicht entstanden sein. L. v. Buch hat ihn zuerst genau beschrieben [435]. Von Weed [436] wurde gezeigt, dass sogar bei einer Temperatur von 150° C. noch Algen in den heissen Springquellen des Yellowstone-Territoriums vorkommen und die dortigen berühmten Sinterabsätze erzeugen helfen, so wie auch der Karlsbader Sprudelstein, der schon 1780 als Schmuckstein litterarisch behandelt ward [437], zum Teile Algen (Oszillarinen) die Entstehung dankt. Stolley und Westhoff zeigen [438], dass neben den genannten niederen Pflanzen auch Pilze mitwirkten, um Sinter, Tuff und Bohnerz (S. 785) zu schaffen, und dass namentlich gewisse paläo- und mesozoische Ablagerungen (S. 670) grossenteils aus Baktryllien, Lithothalamien und Dasydaklaceen, schwedische Silurschichten sogar wesentlich aus Siphoneen bestehen. Für den eozänen Pariser Pisolithkalk (Pisolith-Erbsenstein, weil aus kleinen Knöllchen zusammengesetzt) führte Munier-Chalmas [439], für die alpine Trias führte Rothpletz [440] den entsprechenden Nachweis. — Beiläufig sei bemerkt, dass dieselben Algen, die uns hier als gesteinsbildend entgegentraten, auch eine gesteinszerstörende Aktion beginnen können (vgl. S. 600). F. Cohn hat [441], ältere Beobachtungen von Al. Braun und Flahault hinsichtlich der mäandrischen Runzeln in Wasser liegender Gesteinstücke zusammenfassend, dargethan, dass dieselben zwar solange, als das Wasser Tuff absetzt, nicht bemerkbar werden, wohl aber, wenn sie einige Zeit im Trockenen dem Regen ausgesetzt waren. Die Spaltalgen haften mit ihren Basalzellen an der Oberfläche der Steine und erodieren hier chemisch, während die Fäden radial nach aussen gerichtet sind. Die gleiche Erklärung für Steinrunzeln gibt v. Ammon, der auch eine sehr gute Abbildung mitteilt [442], vortrefflich geschickt zur Demonstration der Aussage Cohns, dass man mitunter „die Reliefkarte eines Alpenlandes“ vor sich zu haben glauben möchte.

Auf die Sinterabsätze der Heisswasserquellen wird im nächsten Paragraphen, auf die gleichfalls hierher gehörigen Tropfsteinbildungen im nächsten Kapital zurückzukommen sein. Mitunter hat sich ein Fluss durch eine Tuffmasse mittelst Erosion selbst sein Bett gegraben, so wie z. B. der Yör-Köprusy im nordöstlichen Kleinasien [443]; dann sind Naturbrücken entstanden. Gegenstände, welche man längere Zeit der Einwirkung solchen Wassers aussetzt, werden inkrustiert, und es können dadurch (vgl. S. 680) sogar eigentliche Versteinerungen entstehen. Eine reichhaltige Materialiensammlung zurLehre von den Inkrustationen bietet Lersch [444]; die aus Schwefel gebildeten Absätze haben bei Haas [445] Erwähnung gefunden.

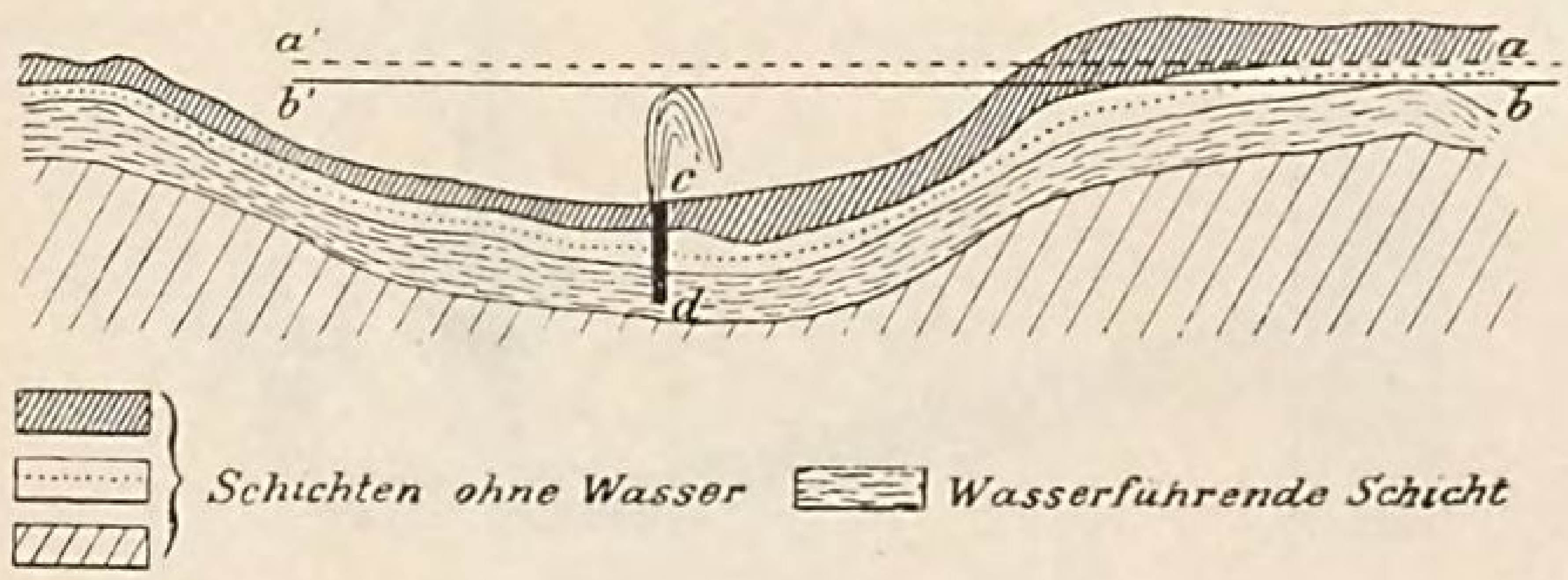
Die Frage, ob auch eine Gasentwickelung im Grundwasser möglich sei, glaubte F. Roth [446] bejahen zu sollen. Gewisse Brunnen in der westlichen Elbemarsch lassen ihm zufolge zu Zeiten ein eigentümlich brummendes oder schwirrendes Geräusch ertönen, und zwar nahm dasselbe immer dann eine besondere Stärke an, wenn das Quecksilber im Barometer in raschem Fallen begriffen war. Mutmasslich liegt hier eine den Wetterbrunnen (S. 798) vergleichbare Erscheinung vor.

§. 8. **Besondere Formen von Quellen.** Das Quellenphänomen ist ein überaus vielgestaltiges. Von den intermittierenden Gassprudeln wird hier ganz und gar abgesehen; es soll sich ausschliesslich um Quellen handeln, deren Wasser der mineralischen Beimengungen so sehr entbehrt, dass diese keine einflussreiche Rolle mehr zu spielen vermögen. Trotzdem sind noch genug verschiedene Modalitäten in Betracht zu ziehen, und zwar wollen wir kalte und warme Quellen gesondert betrachten. Zunächst interessieren uns die Naturfontänen, welche kontinuierlich oder intermittierend sein können; mit den letzteren äusser-

lich verwandt, wenn auch auf eine verschiedene physikalische Ursache zurückzuführen sind die zeitweise fliessenden, nicht aber springenden Quellen. Die nicht in dünnen Fäden, sondern gleich in Form starker Wasserläufe austretenden Quellen repräsentieren wieder eine eigene Gruppe, nicht minder die Brackwasserquellen, welche als direkte Konsequenz der sogenannten Meermühlen erscheinen. Was die heissen Quellen anlangt, so soll zum ersten deren anscheinend sehr der Erklärung bedürftige Höhenlage, zum zweiten aber deren periodische Eruption, soweit dieselbe nicht eine Folge interner Gasentwickelung ist, Gegenstand der Erörterung werden.

a) Kontinuierliche Naturfontänen oder artesische Brunnen. Es wird berichtet [447], die Karthäusermönche des Klosters Lillers in der Grafschaft Artois (Nordfrankreich) hätten zuerst Brunnen gegraben, deren Wasser in Form eines Springstrahles zu Tage getreten sei, und darauf wird der Name artesische Brunnen zurückgeführt. Doch scheint man in den Wüsten Afrikas (S. 787) diese Kunst schon früher geübt zu haben. Im Drucke soll Palissy (S. 794) zuerst solcher Fontänen gedacht haben; jedenfalls war Dom. Cassini der erste, der solche Bohrversuche rationell betrieb [448], und Ramazzini der erste, der die Frage wissenschaftlich behandelte [449]. De la Métherie schildert [450] derartige Brunnen in Algerien, Nordfrankreich und um Modena als eine allbekannte Sache und erklärt sie auch

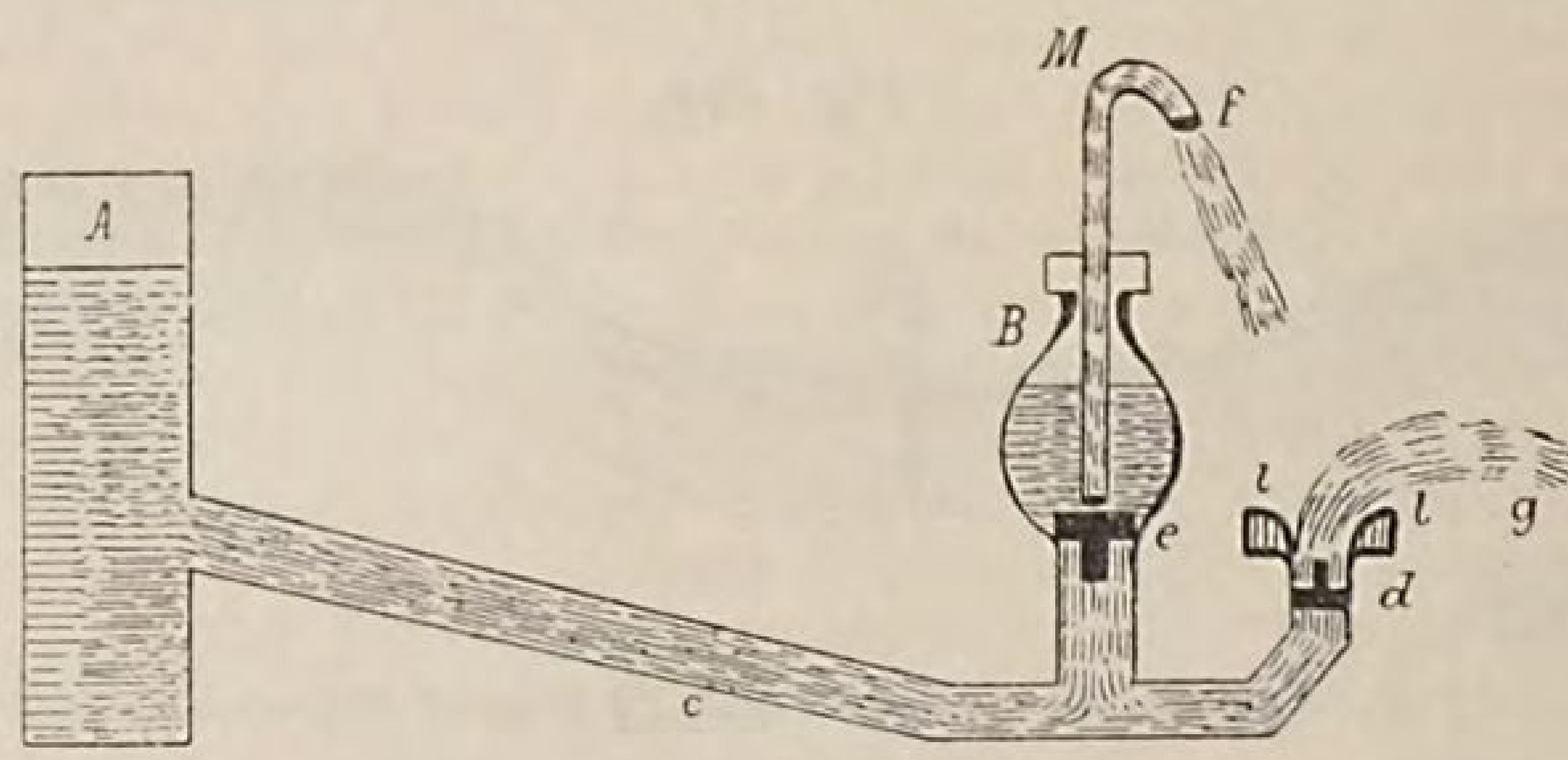
Fig. 159.



zutreffend. Um dies zu thun, bedarf es lediglich Kenntnis des Gesetzes der kommunizierenden Röhren. Wir sehen in Fig. 159 drei gegen die Aussenseite konkav gekrümmte Schichten, deren unterste als wasserhaltig bekannt ist. Treibt man dann in c einen Brunnenschacht c d senkrecht bis in diese Schicht hinab, so wird der das Wasser am Aufsteigen hindernde Druck hinweggenommen, und eine Fontäne springt empor bis zu jenem Horizonte b b', welcher die das Wasser führende Schicht in ihrem höchsten Punkte berührt. Den höher gelegenen Horizont a a' vermag der Strahl nicht mehr zu erreichen, weil sonst im einen (Luft-)Schenkel des Röhrensystemes die Flüssigkeit höher als im anderen stehen würde. Die Bewegung dauert an, bis der unterirdische Wasservorrat erschöpft ist, wie das unlängst einmal in Ungarn sich zutrug [451]. Zumeist liefern artesische Brunnen ein sehr reines Wasser, indessen kommen doch auch, wie z. B. bei einem Brunnen dieser Art in Alabama, Vermengungen mit organischen Substanzen vor [452], weil in jenem Falle ein Torfmoor beim Bohren angeschnitten worden war. Im westlichen China, wo die Technik des Bohrens auf Wasser und brennbares Gas (vgl. I, S. 376) seit unvordenklicher Zeit geübt wird [453], fördert man zumeist salziges, mit Gasen geschwängertes Wasser ans Tageslicht. — Einige besonders bekannte artesische Brunnen stellt Lersch [454] mit den nötigen Tiefenangaben zusammen: Mandorf (730 m), Oeynhausen (697 m), Schönbornquelle in Kissingen (584 m), Grenelle (548 m), Giromagny in den Vogesen (433 m). Sehr viel reden machte von sich das Bohrloch von Grenelle bei Paris, dessen Herstellung die grössten Schwierigkeiten machte; Arago handelt [455] über dasselbe in einem besonderen Aufsatze, welcher auch sonst für die Quellenlehre vieles Interesse bietet. Schriften über die technischen Operationen, welche artesische Brunnen mit sich bringen, hat man aus älterer Zeit von Gambihler [456] und den beiden Bruckmann [457], aus neuerer besonders von Belgrand [458] und Swindell-Burnell [459]. Den Er-

trag eines unter gegebenen Bedingungen anzulegenden Brunnens kann man auf Grund einer von Lueger [460] gegebenen Formel schätzen. Nirgendwo hat man die Bohrungen bisher so energisch betrieben, wie seitens der französischen Regierung an der algerisch-tunisischen Wüstengrenze, weil hier jede artesische Quelle einmal eine Oase schafft (vgl. S. 787) und dann eben hiedurch eine nicht zu unterschätzende pazifikatorische Wirkung auf die Kabylenstämme ausübt. Die sogenannten Schreias [461] sind von selbst entstandene artesische Brunnen, und deren Wasser leitet der Wüstenbewohner durch einen Abzugskanal (Sagui) in seine Dattelpflanzung. Die Eingeborenen haben auch selbst vielfach versucht, Wasser zu erbohren, allein ihre schwachen Instrumente reichten dazu nicht aus, und um so mehr Respekt bekamen sie vor den Erfolgen der französischen Ingenieure. — Diese Auffassung des Wesens der artesischen Brunnen hat nach Daubrées [462] Angabe Haton de la Goupillière als nicht ausreichend bezeichnet, und Jentzsch [463] hat sich, anlässlich von Studien über die Schneidemühler Katastrophe (S. 792), ähnlich geäussert, während Stapff [464] darauf hinwies, dass der angenommene Druckverlust jedenfalls nicht die ihm zugeschriebene Höhe erreichen könne. Dass dann, wenn die Brunnen in eine starke Grundwasserströmung (S. 788) hinreichen, das austretende Wasser unter höherem Drucke stehen kann, wird von Keilhack [465] wieder am Schneidemühler Beispiele erläutert. Wir glauben unbeschadet der Richtigkeit unseres Fundamentalsatzes der Meinung Ausdruck geben zu dürfen: Das sympiëzometrische Niveau (συμπιέζειν, zusammendrücken), bis zu welchem das Wasser

Fig. 160.

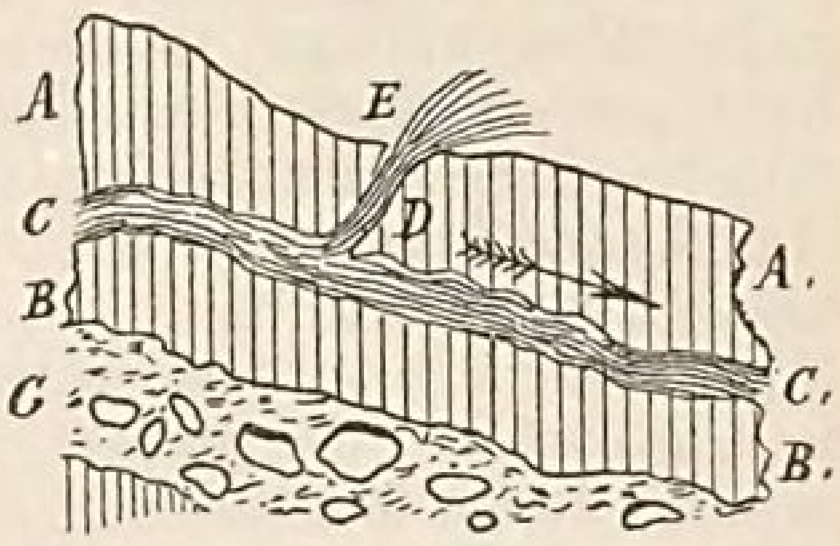


ansteigt, wird in erster Linie durch das hydrostatische Grundgesetz, nächstdem aber auch durch die Gestalt der wasserführenden Schicht, durch den Permeabilitätsgrad der einzelnen Schichten und auch durch den auf der Tagesöffnung lastenden Luftdruck (S. 798) bestimmt.

b) Intermittierende kalte Naturfontänen. Wenn aus der Quellöffnung Wasserstrahlen in Pausen austreten, indem jeder Austritt von dem nächstfolgenden durch eine gewisse Frist geschieden ist, so liegt es nahe, an einen Stauprozess zu denken, der sich nach dem Prinzipe des Stosshebers oder hydraulischen Widders regelt. Man könnte also auch von Stauquellen sprechen. Hieher gehören die Estavelles, periodische Springbrunnen im französischen Jura, deren merkwürdigste sich in der Nähe von Pruntrut finden; Fournet und, ihm folgend, E. Reclus, haben sich mit ihnen beschäftigt [466]. Auch in verkarsteten Gegenden wird dergleichen zum öfteren wahrgenommen, wie dies insbesondere Eichwald [467] von der Insel Oesel berichtet, und allem Vermuten nach haben wir auch die sonst ganz unerklärliche Beobachtung v. Nordenskiölds [468] (S. 761) über einen intermittierenden Springbrunnen hieher zu ziehen, welcher aus einem Loche des grönländischen Binneneises hervorbrach. Der Apparat, dessen Theorie von Viallon [469] und Eytelwein [470] entwickelt ward, ist in Fig. 160 abgebildet; es ist die von Montgolfier und Argand erdachte Konstruktionsmanier [471]. Aus dem Wasserbehälter A führt ein zuerst geneigtes, dann aber horizontal umgebogenes Rohr zu einem vertikalen Ansatzstücke, welches sich bei e zum Ballon B erweitert; das Ventil e sperrt letzteren gegen unten ab, während zugleich im Inneren von B das Rohr M mit seiner nach unten gerichteten Ausflussöffnung f mündet. Das horizontale Rohrstück krümmt sich zuletzt aufwärts, und seine Oeffnung l kann

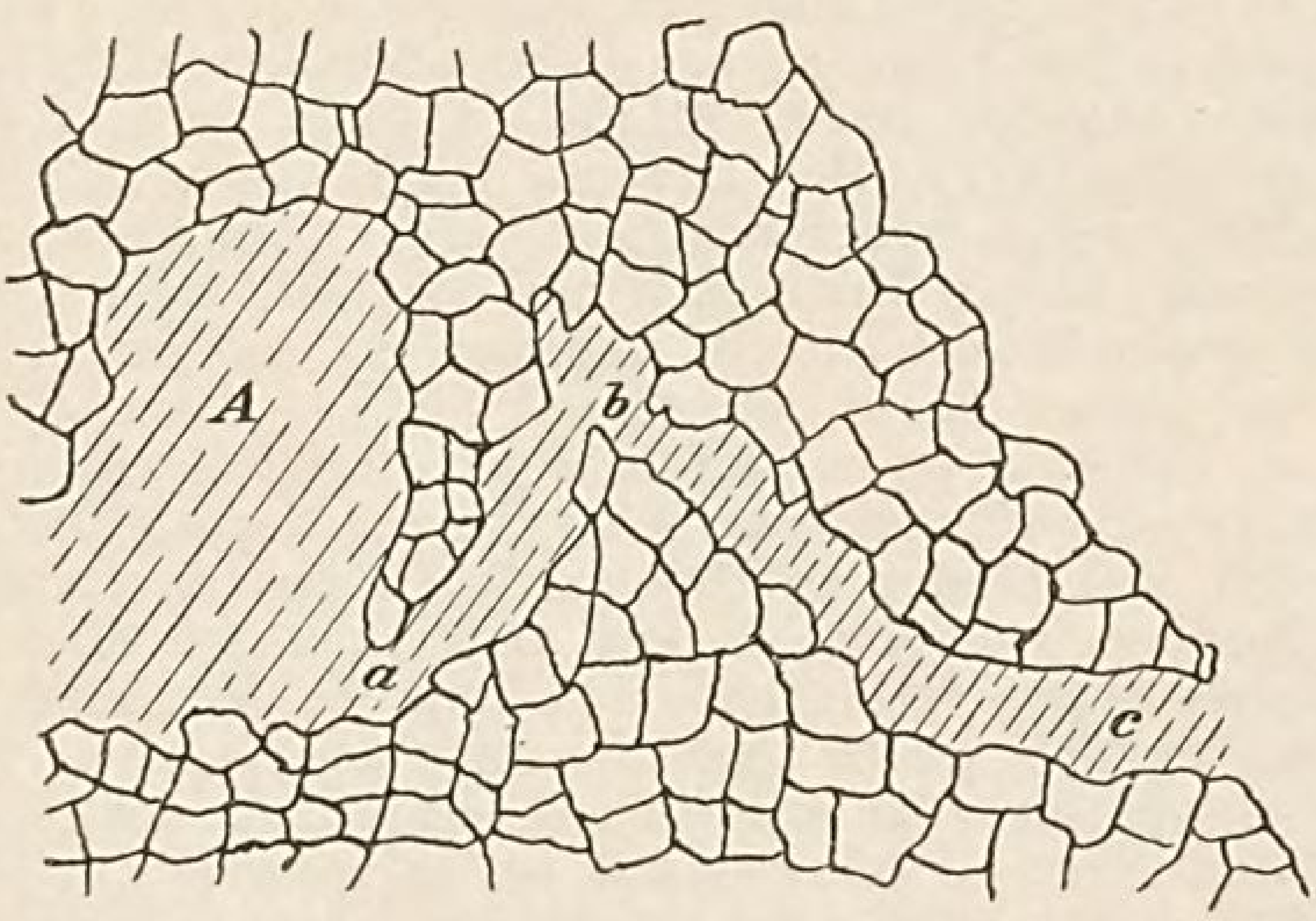
ebenfalls durch ein Ventil d verschlossen werden. Das herabfliessende Wasser vermag das bei e angetroffene Hemmnis nicht gleich zu überwinden, und während es dieses zu beseitigen strebt, hat sich eine Wasserquantität den Austritt bei l erzwungen. Inzwischen ist auch Wasser in B eingedrungen, hat hier die Luft komprimiert und das Austreten eines mit Luft vermengten Wasserstrahles bei f veranlasst. Sowie der nächste Antrieb zu wirken aufgehört hat, thut jedes Ventil wieder seine Schuldigkeit, und so sieht man in dauerndem Wechselspiele bei f und g Wasserstrahlen mit grosser Kraft austreten. Die Uebertragung dieses alternierenden Bewegungsprozesses auf die freie Natur ist leicht zu verstehen; zwischen den festen Schichten $A A_1$ und $B B_1$ (Fig. 161) fliesst die Wasserader $C C_1$, die aus höher liegender, poröser Schicht G — deren Ende ist noch ersichtlich — stammt, und während für gewöhnlich der Kanal das Wasser gut fassen kann, wird ihm dessen bei Regengüssen oder in der Zeit der Schneeschmelze so viel zugeführt, dass zeitweilig der Ueberschuss durch die nach aussen führenden Kanäle, wie D E, ausgeworfen werden muss. In Verbindung mit äquivalenten Erscheinungen ist das Problem der intermittierenden Stauquellen anderweit [472] abzuhandeln versucht worden.

Fig. 161.



c) Gewöhnliche intermittierende Quellen. Quellen von dieser Art werden, wie Lersch [473] durch historische und aktuelle Belege nachweist, so ziemlich überall angetroffen. Die Namen Jahresquellen, Sommer- oder Frühlingsquellen, Monatsquellen, Stundenquellen lassen sofort erkennen, nach welchen Zeiträumen solche Quellen Wasser zu geben pflegen. Auch Maiquellen

Fig. 162.



und Hungerbrunnen spielen im Volksmunde ihre Rolle; zumal die Schweiz enthält der letzteren eine ganze Anzahl, und Scheuchzer [474] bemühte sich, durch Vergleichung ihrer Frequenz mit den laufenden Kornpreisen dahinter zu kommen, ob sie wirklich in unfruchtbaren Jahren besonders viel Wasser liefern. Ganz allgemein erklärt man solche temporäre Wasseraustritte aus dem Gebirge durch das Hebergesetz [475], welches freilich nur dann zur Anwendung kommen kann, wenn man sich im Hinblicke auf die Gesteinsart versichert halten darf, dass im Inneren jenes Gebirges ausgedehntere Hohlräume vorhanden sind. Wir sehen in Fig. 162 einen Gebirgsdurchschnitt vor uns, und zwar befindet sich in A eine Höhle, welche durch das gewundene Rohr a b c mit dem Mundloche c zusammenhängt; c liegt tiefer als der Boden der Höhlung. Letztere wird durch das einträufelnde Regenwasser (S. 793) gefüllt, und sowie letzteres bis zum Niveau von b gestiegen ist, tritt dem erwähnten physikalischen Gesetze gemäss der Ausfluss ein, der so lange andauert, bis der Wasserspiegel unter a gefallen ist. Sowie der Abfluss einmal gehemmt wurde, kann er erst wieder von dem Augenblicke an beginnen, da das Reservoir bis zum Niveau von b gefüllt ist. Bedenkt man, eine wie mannigfache Anzahl von Varietäten die Gestalt des intra-

montanen Röhrensystemes aufweisen kann, so sieht man zugleich auch ein, dass jedwede Art von Periodizität mit dieser Hypothese wohl vereinbar ist. — Durch derartige Quellen können auch Wannen gefüllt werden, in denen sich dann also intermittierende Seen bilden. Die Karstseen, welche teilweise hierher gehören, werden zweckmässiger ihre Darstellung erst im nächsten Kapitel finden. Ob der sogenannte Bauerngraben im Harz dem Hebergesetze unterliege, wie zu glauben nahe genug lag, ist nach Streng [476] zweifelhaft. Ihm zufolge ist der — jedoch nicht gerade periodisch — bald gefüllte, bald geleerte Kessel das Resultat eines doppelten Erdrutsches, und kleinere Erdfälle und Einstürze scheinen in den umgebenden Gipsschichten noch immer an der Tagesordnung zu sein, so dass das zufliessende Wasser bald zurückgehalten, bald freigegeben wird. — Ueberhaupt ist der Heber nicht etwa ein Universalfaktor, der alle mit Intermittenz zusammenhängenden Vorkommnisse zu interpretieren berufen wäre. Es genügt, an das Dasein der Verwerfungsquellen (S. 795) zu erinnern, denen Marischler [477] die Teplitzer Thermen (S. 796) zurechnen möchte, um einen öfter vorkommenden Fall anders beschaffener Intermittenz vor sich zu haben. Letztere ist z. B. auch anzusprechen für den Karlsbrunnen bei Eichenberg (südlich von Göttingen) [478], denn dieser hört niemals ganz zu fliessen auf, aber täglich wechseln mehrmals Perioden sehr schwacher und sehr energischer Wasserergiebigkeit.

d) Stromartig fliessende Quellen. Sowohl im Juragebirge, wie auch im Karstgebiete tritt plötzlich aus einer Felswand ein mächtiger Wasserlauf ans Licht, von dem man sich ohne weiteres überzeugt, dass er nicht erst nahe der Austrittsöffnung entstanden sein könne, dass er vielmehr schon eine grössere Strecke in der Verborgenheit zurückgelegt und auf diesem Wege allmählich sich vergrössert haben müsse. Für Pseudoquellen dieser Art — dies wäre vielleicht die passendste Bezeichnung — ist von Desor [479] der im Jura gebräuchliche Lokalname Doue vorgeschlagen worden; aber auch Source Vauclusienne nennt man eine solche Stromquelle nach dem bekannten Sackthale von Vaucluse (bei Avignon), aus dessen abschliessendem Berge der Sorgues herauskommt [480]. Aehnlich ist die Birsquelle im Jura, die Visquelle in den Cevennen beschaffen [481]. Des ferneren trägt diesen Charakter der Blautopf bei der württembergischen Stadt Blaubeuren, „ein kreisrunder, tiefer, geheimnisvoller Quellsee, dessen Farbe sich mit der Tiefe zum schönsten Himmelsblau steigert und dessen Wasser sich aus unbekannten Quellöchern so stark ergänzt, dass beständig ein grosser Strom überfliesst“ [482] — eben die der Donau zuströmende Blau. — Vielleicht am auffälligsten jedoch tritt diese uneigentliche Quellbildung beim Timavo (dem Timavus der Alten) hervor, der nördlich von Triest, nahe bei Monfalcone, dem zerklüfteten Kalkfels entströmt und unverzüglich mit Schiffen befahrbar ist, allerdings aber nach kurzem Laufe von nur einer Wegstunde sich mit dem Adriatischen Meere verbindet. Man kann es dem alten Plinius kaum übel nehmen, wenn er [483] gleich nach Nennung des Namens, wiewohl halb ungläubig, die Fabel von einer unterirdischen Verbindung des „Ister“ (Donau) mit „Istrien“ zum besten gibt. — Selbstredend ist es in vielen Fällen eine lohnende Aufgabe, zu ermitteln, wo die ungeheuren Wassermassen herkommen, welche dem Schosse des Gebirges entströmen. Hierüber soll weiter unten, in §. 12, Aufschluss erteilt werden.

e) Meermühlen. Der wo nicht einzige, so doch jedenfalls klassische Schauplatz der nunmehr an die Reihe kommenden Erscheinung ist die jonische Insel Kephallenia. Ob eine Andeutung Strabons [484] sich wirklich auf diese Erscheinung bezieht, muss dahingestellt bleiben. Im Jahre 1835 machte John Davy in einem durch Jameson veröffentlichten Schreiben [485] (an Forbes) die gelehrte Welt mit der merkwürdigen Thatsache bekannt: An der Küste der im Westen jener Insel gelegenen Halbinsel Argostoli ergiesst sich Tag für Tag eine gewaltige Wassermasse — nach hydrometrischen Messungen 58300 cbm — in den zerklüfteten Kalkfels, ohne dass etwas davon wieder zum Vorschein käme, und ohne dass eine Erniedrigung des Meeresniveaus sichtbar würde. Ein Engländer Stevens verfiel zur Zeit der britischen Herrschaft über diese Inselgruppe darauf, eine Mühle durch den Wasserstrom treiben zu lassen; deren Rad machte im Jahre 1855 eine Umdrehung in 9 bis 10 Sekunden, und seitdem ist zur „alten Mühle“ noch eine „neue Mühle“ hinzugekommen. Mit der Theorie der Meer-

mühlen — so hat man sich den Gesamtkomplex aller der zusammengehörigen Erscheinungen zu benennen gewöhnt — beschäftigten sich folgeweise Mousson [486], Unger [487], Ansted [488], Fouqué [489], die beiden Wiebel [490], und zuletzt hat Partsch [491], auf Grund gründlicher Terrainstudien an Ort und Stelle, den Stand der Frage zusammenfassend gekennzeichnet. Die zuerst aufgetauchte Vermutung, das vom Lande aufgenommene Meerwasser gehe durch blosse Verdunstung und Rückverwandlung wieder zur alten Heimat zurück, wiederlegte schon 1835 Strickland [492]. Tiefer fasste Mousson die Sache auf, indem er [493] zu zeigen bestrebt war, dass das eingesunkene Wasser sich erwärmen und so die Fähigkeit zum Wiederaufsteigen erhalten müsse, worauf sich ein Zirkulationsprozess einleite. Es liegt uns ferne, diese von Wiebel [494] bekämpfte Deutung des anscheinenden Verschwindens des eindringenden Wassers für schlechthin unhaltbar zu erklären, aber rein hypothetisch ist sie in jedem Falle. Fouqué gibt (s. o.) zu, dass eine Temperatursteigerung das Ansteigen des Wassers ermögliche, erinnert aber zugleich daran, dass sich im Inneren der Insel das Salzwasser mit süssem Quellwasser mischen, und dass diese Mischung ihm so die Kraft verleihen könne, sich höher zu erheben, als es sich an und für sich mit dem Gesetze der kommunizierenden Röhren vertrüge. Der Umstand, dass Kephallenia reich an Brackwasserquellen ist, wird bereits von Fouqué für seine Auslegung verwertet. Noch mehr trifft dies zu für die Wiebelsche Theorie, welche die Lehre vom negativen Seitendrucke in den Dienst unseres Problemes stellt. Dieselbe hat nach Rosenberger [495] schon frühe die Aufmerksamkeit eines Hawksbee [496] und Daniel Bernoulli [497] auf sich gezogen, hat dann mehrfach praktische Anwendung gefunden (Injektor von Giffard, Zerstäuber von Schimper, Ansaugexperiment von Clément und Desormes, Wasserluftpumpe von Bunsen) und ist in neuerer Zeit durch Magnus [498] und v. Feilitzsch [499] als einfache Konsequenz bekannter mechanischer Sätze dem Systeme einverleibt worden. Die von F. Wiebel konstruierte Saugluftpumpe erläutert vielleicht am besten das Prinzip. Der Hohlraum C (Fig. 163), der durch ein horizontales Ansatzstück mit dem vertikalen Rohre AB in Verbindung steht, soll evakuiert werden. Man schraubt A an eine Wasserleitung an, welche eine hinreichende Menge von Wasser zuführt, und lässt letzteres mit grosser Geschwindigkeit durch AB strömen. Sobald die Federklemme S geöffnet wird, welche zunächst noch C abschloss, macht der negative Seitendruck seine Wirkung geltend, und wenn man zuvor Sorge getragen hat, den Rezipienten C mit einer gefärbten Flüssigkeit zu füllen, so zeigen sich deren Spuren sofort im Abflusswasser, und binnen kurzem ist die Entleerung vollzogen. — Daraufhin können wir den Vorgang, so wie ihn die beiden Physiker Wiebel sich denken, in Gemässheit der Fig. 164 begreifen. Das Meer stürzt sich bei c in ein unterirdisches Bassin d, dessen Vorhandensein im Karstlande schon aus äusseren Gründen nicht unwahrscheinlich, hier aber auch noch durch den Umstand bezeugt ist, dass Brunnengrabungen auf der Insel durchweg nur angesäuertes Wasser liefern. Aus d führen mehr oder weniger vertikale Kanäle a und b zu dem aus den höher liegenden Partien herabführenden Quellstrange, und wenn dann das Quellwasser mit der von den Gesetzen des Falles vorgezeichneten Geschwindigkeit an den oberen Mündungen von a und b vorüberfliesst, so muss sich der negative Seitendruck bethätigen, und das ausfliessende Wasser verwandelt sich, wie die Figur ersehen lässt, in Brackwasser. Wesentlich unterstützend wirken aber auch noch zwei andere Momente. Einmal nämlich ist Moussons Folgerung (s. o.), wenn sie wohl auch nicht überschätzt werden darf, gewiss nicht an sich unrichtig; das eindringende Wasser wird sowohl durch die bald gehemmte Bewegung, als auch durch Berührung mit Schichten von höherer Eigentemperatur (I, S. 333) erwärmt und dadurch mit der Eigenschaft ausgerüstet, höher als bis zum Ausgangsniveau ansteigen zu können. Sodann macht aber

Fig. 163.

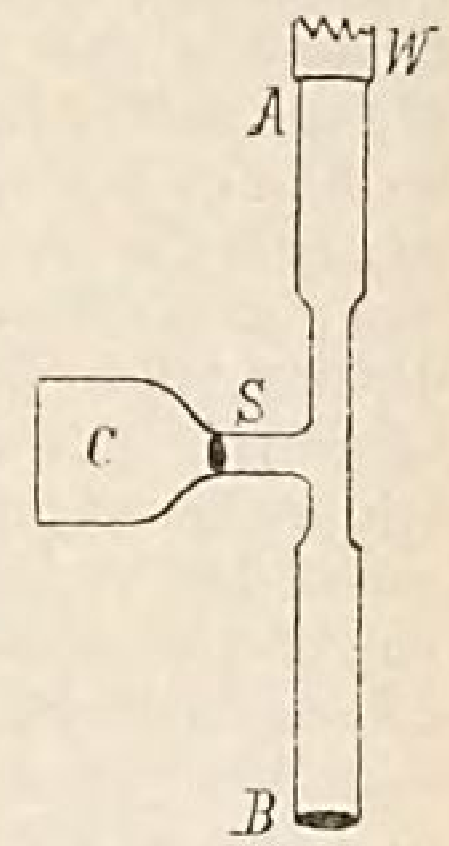
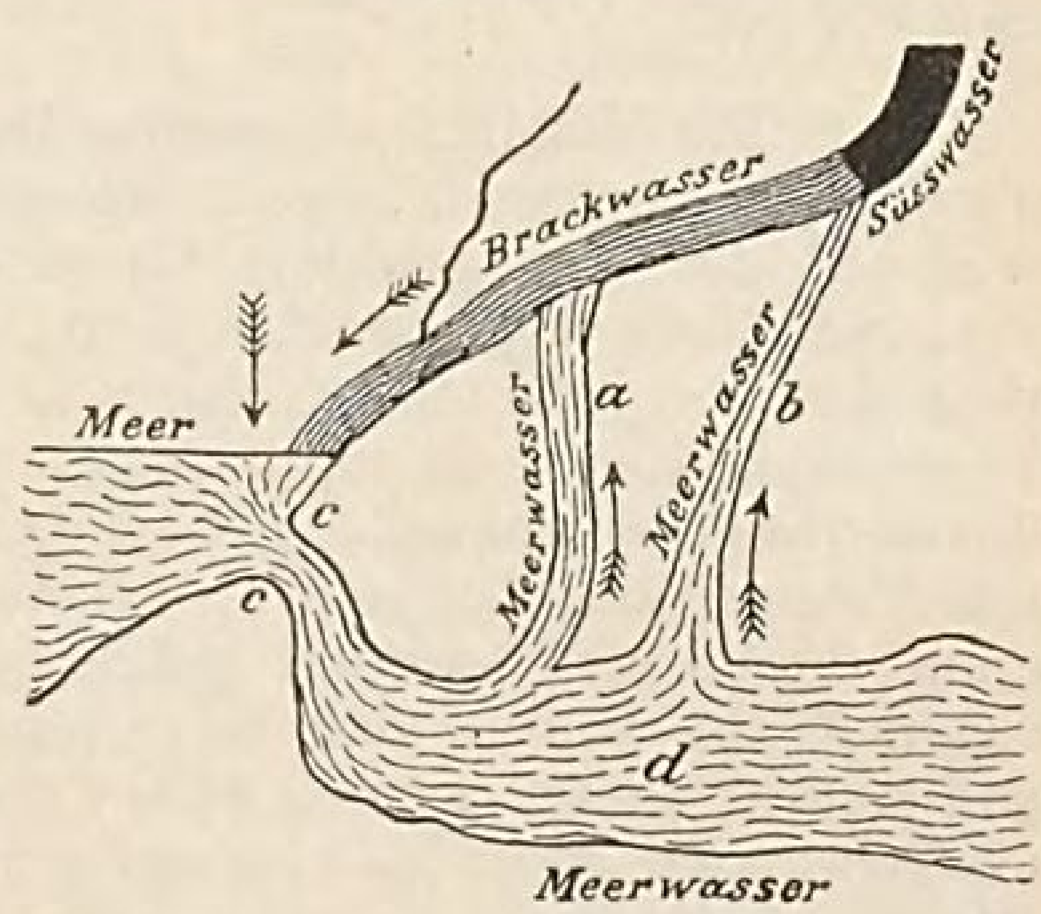


Fig. 164.



auch die Lehre vom Sprungkegel (S. 466) ihren Anspruch geltend. Das Gesetz der kommunizierenden Röhren ist ein statisches, kein dynamisches und wenn folglich Flüssigkeit aus einem Niveau A in ein tieferes gelangt, um durch vorgeschriebene Wege von dort aus wieder zum Aufsteigen gezwungen zu werden, so kann dieser Anstieg, je nach der Form jener Wege, zu einem höheren Horizonte emporführen, als es A ist. Wenn die Zuleitungsröhren zum Teile sich nach oben verengern, so wird in ihnen das Wasser höher emporführen (Bewegung im Flaschenhalse). Wir sind also in der Lage, die Ansicht vertreten zu können, dass drei unter sich verschiedene physikalische Ursachen eine Verästelung des eingedrungenen Meerwassers im Felsgerüste der Insel bewirken können: Negativer Seitendruck, durch dessen scharfe Betonung der Wiebelschen Schrift unter allen Umständen ein grosses Verdienst um die Aufhellung eines verwickelten Naturgeheimnisses gesichert ist, Temperaturerhöhung und zwangsweise unterhaltene Bewegung in Röhrensystemen. — Uebrigens wird man, wenn auch das alles zugestanden wird, sich von der Erklärung noch immer nicht voll befriedigt fühlen können, denn die Menge des von den Brackwasserquellen gelieferten Wassers ist zweifellos geringer, als die Quantität des anscheinend verloren gehenden Meerwassers. Es wird mithin noch ein weiterer Ausweg in Erwägung zu ziehen sein, wie dies auch Partsch, der sonst der Wiebelschen Hypothese durchaus nicht abweisend gegenübersteht, für angezeigt erachtet [500]. Ein aus dem Meere aufragendes Karstgebirge ist sonder Zweifel von Spalten und Rissen durchsetzt, welche dem im unterirdischen Bassin d angesammelten Wasser den Wiederaustritt ins Meer ermöglichen, und dieser kann so geräuschlos und stetig vor sich gehen, dass Menschenaugen nichts davon bemerken, und dass gleichwohl die Niveauwiederherstellung in der Nähe der Mühlen sich ganz von selbst vollzieht. Cvijić, der auch darauf hinweist [501], dass am Quarnero durch Lorenz v. Liburnau [502] und an der Westküste Griechenlands durch Philippson [503] ähnliche Vorkommnisse, nur von minder ausgeprägter Entschiedenheit, aufgedeckt worden sind, erinnert daran, dass auch durch zahlreiche Süsswasserquellen, die in der Nähe verkarsteter Küsten dem Meeresboden entsteigen, die Mannigfaltigkeit der Zusammenhänge zwischen Meer und Festland deutlich dargethan wird. Auch dafür bringen Lorenz v. Liburnau [504] und Tietze [505] Belege bei. So ist denn das Meermühlenproblem ein höchst verwickeltes und kaum durch einen einzigen Erklärungsmodus zu bewältigendes, aber so viel steht fest, dass dasselbe in der Hauptsache doch als ein Korollar der Lehre von den Quellen aufzufassen ist.

f) Die Höhenlage warmer Quellen. Es ist schon bei den gewöhnlichen Quellen eine auffällige Sache, wenn dieselben nahe dem Gipfel eines Berges ausströmen, wie z. B. der sehr reichlich fliessende Hexenbrunnen, der nur 5 m unterhalb der Brockenhöhe entspringt [506]. Dass solche Höhenquellen in recht trockenen Jahren versiegen, ist aber eben doch eine Thatsache, und es bedarf deshalb keiner Hilfshypothese, zumal da man weiss, wie energisch isoliert aufragende Berge als Kondensatoren der atmosphärischen Feuchtigkeit wirken (S. 282). Anders verhält es sich um Thermalquellen in namhaften Höhen. Indessen hat O. Lang [507] auch diesen Fall einfach geklärt. Wenn von dem Orte A, an dem die meteorischen Wasser zusammenlaufen, eine U-förmig gebogene Röhre, deren Umbiegungsstelle bei C liegt, zu der Stelle B führt, an welcher die warme Quelle austritt, so erwärmt sich etwa das zuvor normal temperierte Wasser an der unterirdischen Glut (S. 795) in C, und da es dann spezifisch leichter geworden ist, so kann es im anderen Röhrenschenkel bis zu einem Punkte B ansteigen, der ein gutes Stück höher als A gelegen ist. Hier ist nur von reinem Wasser die Rede; Mineralgehalt unterstützt jedoch den Auftrieb und wird deshalb von O. Lang [508] besonders in Betracht gezogen.

g) Die intermittierenden heissen Naturfontänen oder Geysirs. Das isländische Wort Geysir (eines Stammes mit dem deutschen giessen) bedeutet so viel wie tobend sprudelndes Wasser. In neuerer Zeit hat man alle analogen Naturerscheinungen dreier Erdteile unter diesem Namen zusammengefasst. Wohl die erste einschlägige Nachricht bringt der dänische Geschichtschreiber Saxo Grammaticus, bei dem nach Thoroddsen [509] folgendes zu lesen ist: „In Island ist eine Quelle, welche durch die Kraft dampfenden Wassers die natürliche Beschaffenheit jeglichen Gegenstandes zerstört. Denn was von dem Dampfe des Wassers berührt wird, das

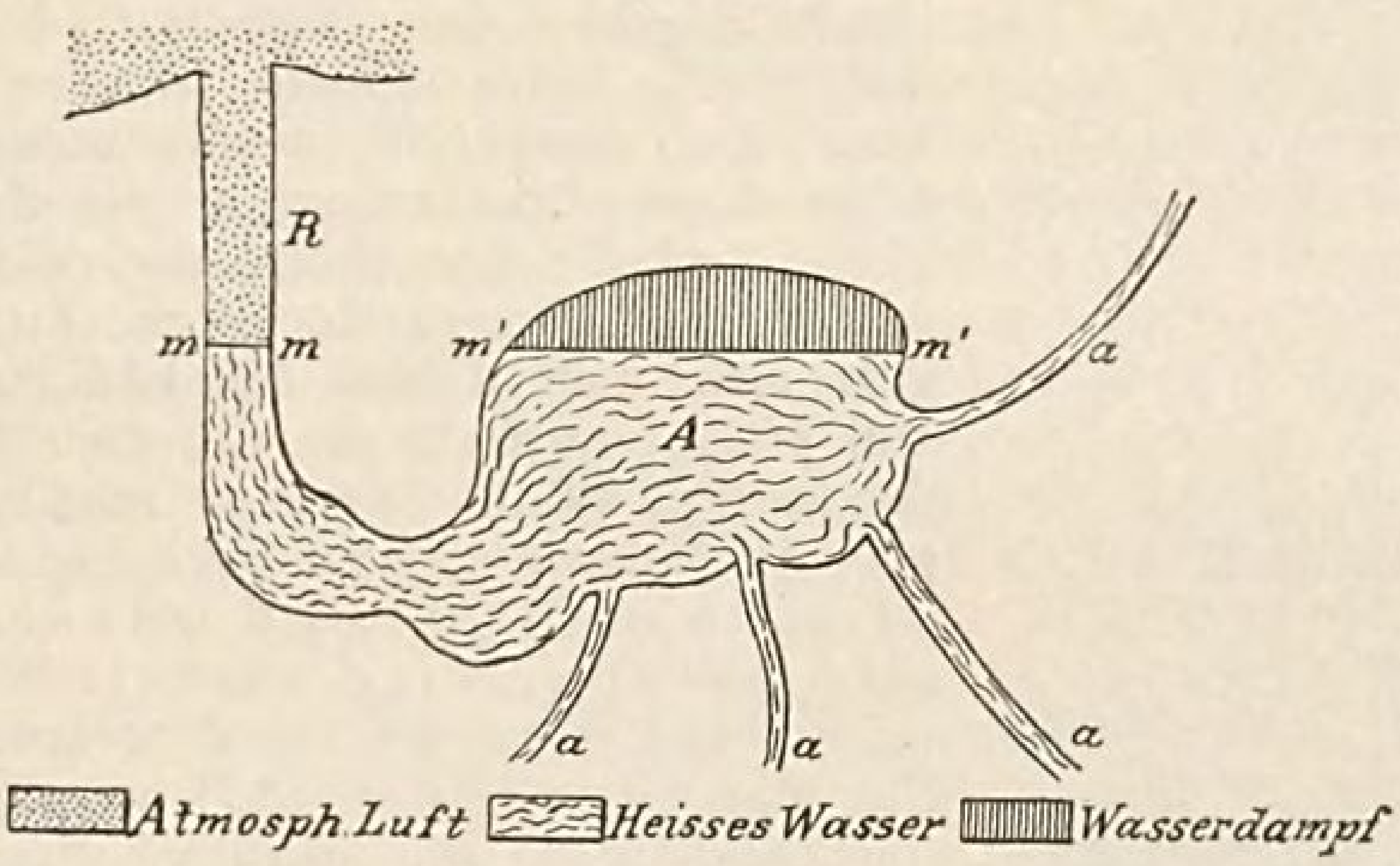
wird hart wie Stein" — offenbar eine Anspielung auf die Sinterbildungen (S. 800) rings um die heissen Quellen. Bestimmter noch ist die Aussage des „Königsspiegels" [510], denn in ihm (I, S. 13) wird auch bereits der Siedehitze Erwähnung gethan, welche zuzeiten das Wasser hoch in die Luft springen lasse. Im XVI. Jahrhundert lässt sich bei Seb. Münster, Purchas, Megiser, Bleffken eine oberflächliche Bekanntschaft mit den heissen Springquellen der „Eisinsel" erkennen [511], aber festere Formen nimmt dieselbe erst, nach H. Weber [512], im XVIII. bei Zorgdrager und vor allem bei Olafsen an, dessen vielgelesene Reisebeschreibung [513] eine sehr gute Skizze des wichtigsten Geysirs und seiner Eruptionen enthält.

Ein umfassendes Verständnis des Wesens dieser eigenartigen, aufs engste mit dem Vulkanismus (I, S. 376) verknüpften Erscheinungen konnte erst dann gewonnen werden, als man Nachrichten erhielt, denen zufolge ganz analoge Heisswasserbrunnen auch ausserhalb Islands vorkommen. Wir halten es ebenfalls für zweckmässig, vorerst eine kurze Mitteilung über die geographische Verbreitung der Geysirquellen zu geben. Ein besonders hohes Interesse bleibt dem historischen Heimatlande derselben immer gewahrt, und so darf man denn in allen wissenschaftlichen Werken über Island, wie wir sie in dem XIX. Jahrhundert aus der Feder von Mackenzie [514], Henderson [515], J. Barrow [516], Bunsen [517], Sartorius von Waltershausen [518], Ebel [519], J. Winkler [520], Preyer und Zirkel [521], Coles [522] (hauptsächlich durch genaue Messungen an der Hauptquelle ausgezeichnet), Thoroddsen [523] u. a. reichlich erhalten haben, den Geysirs einen Ehrenplatz angewiesen zu sehen erwarten. Von kleineren und Miniaturbildungen abgesehen, birgt Island drei höchst merkwürdige Geysirexemplare, von denen zwei, der Grosse Geysir und der Strokkr („Butterfass") ganz nahe bei einander, in dem Vulkangebiete südwestlich von Hekla, liegen, während der Kleine Geysir ungefähr 60 km entfernt, beim Hofe Reikum, zu suchen ist. Heisse Quellen gibt es ausser diesen natürlich noch eine grosse Menge, die aber alle an Bedeutung den genannten nachstehen. Der Grosse Geysir stellt sich im Ruhezustande dar als ein aus Sinter zusammengesetztes, konisches Brunnenbecken von rund 17 m oberem Durchmesser. In dessen Mitte senkt sich, 2 m unter dem Becken, ein Schacht von 3 m Weite 23,5 m tief ab; für gewöhnlich erscheinen Becken und Rohr mit hellem, grünlich schillerndem Wasser angefüllt. Unterirdisches Donnerrollen vernimmt man alle 80 bis 90 Minuten, wie denn überhaupt auf Island Vulkangeräusche (I, S. 456) häufiger denn anderswo vernommen werden, und der Anschrollin („rollende Berg") soll sogar den Signalisten eines Ausbruches abgeben. Der speziell so genannte Brüllende Geysir („Roaring Geyser" bei Barrow [524]) wurde angeblich durch das furchtbare Erdbeben von 1789 als solcher vernichtet, und an seiner Stelle wäre dann der Strokkr entstanden. Um auf den Grossen Geysir zurückzukommen, so zeigt sich in seinem Wasser nach längerer oder kürzerer Pause eine gewisse Wallung; Dampfblasen steigen auf und platzen; kleine Quantitäten siedend heissen Wassers werden in die Höhe geschleudert. Auf einmal aber — nach 1, 2, ja sogar 3 Tagen — setzt diese noch enge begrenzte Eruptionsthätigkeit lebhafter ein, und unter lebhaften Detonationen spritzt ein in Staub zerfallender Springstrahl 25 bis 30 m empor, gefolgt von einigen geringeren Dampf- und Wassersäulen und begleitet von mächtiger Dampfballenentwickelung. Becken und obere Rohrteile sind hierauf längere Zeit ganz leer, und der Beobachter erblickt in der Tiefe bloss noch einen ganz ruhigen Wasserspiegel. Der Strokkr (s. o.) ist gegenteils eine in steter Unruhe befindliche, brodelnde und zischende Quelle, von einem sehr regelrecht gebauten Sinterrande umgeben; Ausbrüche sind zahlreich und gleichfalls nicht an bestimmte Zeiten gebunden, jedoch auch weit weniger bedeutend. Dem gegenüber zeichnet sich der Kleine Geysir, ebenso wie die benachbarte Oxahver („Ochsenquelle") durch die Regelmässigkeit seiner Eruptionen aus. Das Wasser steigt langsam auf (etwa 15 Paroxysmen in 24 Stunden), erreicht nach 10^{m} seine grösste Höhe und fällt in Garben zurück [525]. Klaproth fand [526] in diesem Wasser kohlen-, schwefel- und salzsaure Soda nebst einem starken Zusatze von Kieselerde auf. — Die Kunde von einem gleichfalls sehr vielgestaltigen, dasjenige Islands an Grösse noch übertreffenden Geysirterritorium auf der Nordinsel von Neu-Seeland wurde uns durch v. Hochstetters [527] Reisen übermittelt. Um den Taupo-See herum gruppieren sich heisse Quellen aller Art, unter ihnen die heissen Fontänen, welche die Máori-Sprache als Puias kennt. Der Terrassensprudel, der durch seine wunderbaren Sinterbecken ein wahres Unikum war, hat allerdings (s. S. 409) durch den Ausbruch des Vulkans Tarawera schwer an seiner Schönheit gelitten, aber noch gibt es andere Bildungen dieser Art, welche den Ein-

druck erwecken, als ob ein in Kaskaden herabsteigender Wasserfall plötzlich zu Stein erstarrt wäre. Von weiteren Einzelheiten berichten die verdienstlichen Darstellungen von Chapman [528], Malfroy [529] und Haast [530]; erinnert sei lediglich noch an die Taratara-Puia, der C. Vogt [531] nachsagt, sie sei das leibhafte Ebenbild des Grossen Geysirs von Island (s. o.) und nur noch kapriziöser in ihren Eruptionen. Manchenorts ist das Terrain derart zur Geysirbildung vorbereitet, dass ein Stich mit dem Stocke in den Boden genügt, um einen Dampfstrahl ausströmen zu machen. — Die grossartigste Entfaltung des Geysirphänomenes bietet unbestritten der Yellowstone-Nationalpark in Nordamerika, auf den wir schon früher (I, S. 388) zu sprechen kamen. Die Anzahl der Fachmänner, welche uns dieses Arsenal von Naturmerkwürdigkeiten geschildert haben, ist eine grosse, und eine vollständige Uebersicht über die darob erwachsene Litteratur verbietet sich so sehr von selbst, dass es mit wenigen Angaben sein Bewenden haben muss. Hayden, der die Wunder des ausgedehnten Landstriches zuerst erschloss, steht auch als Monograph desselben an der Spitze, indem der wissenschaftlich umfassendste Bericht, derjenige von Holmes und Peale, sich an den seinigen anreihte [532]. Es folgten v. Zittel [533], Toula [534], Hirschberg [535], W. Meyer [536], und auch für einen offiziellen „Führer" durch den unter den Schutz der Nation gestellten „Park" — ein Areal von 97 qkm, innerhalb dessen Ansiedelung verboten ist — hat die Regierung gesorgt [537]. Westlich von dem grossen Yellowstone-See breitet sich das eigentliche Geysirrevier aus, in ein oberes, mittleres und unteres zerfallend; indessen fehlt es auch sonst fast nirgendwo an Naturspringbrunnen. Einige besonders in die Augen fallende Individuen mögen aus der Fülle herausgehoben werden. Im ganzen zählt man über 3000 heisse Quellen und 62 Geysirs. Der Terrassenbau der Mammot Hot Springs umfasst allein 53 Quellen; seiner grauen Färbung halber sieht er aus der Entfernung wie ein Gletscher aus. Die höchsten Sintersäulen, erloschene Geysirs, sind Riesengrab und Freiheitsmütze; auch Kanzel und Kleopatra-Brunnen sind herrliche Versinterungen. Zahlreich sind nach Hirschberg [538], dem wir hier vorzugsweise folgen, die Farbentöpfe, welche einen verschiedenartig gefärbten Brei ausstossen. Die höchste Erhebung krönt der Schmutzgeysir („Mud Geiser"), während als das mächtigste Gebilde der Springquellgeysir gilt, der mit Regelmässigkeit alle vier Stunden „arbeitet" und seine Strahlen 15 m hoch emporschickt. Der Exzelsiorgeysir im Mittelbecken wirft auch gelegentlich Steine aus und überflutet wohl auch als Heisswasserstrom sein eigenes Becken. Unter den Repräsentanten des an besonderen Typen reichhaltigsten oberen Beckens ragt hervor der Alte Getreue („Old Faithful"), der dem Grossen Geysir von Island am meisten ähnelt, aber nach jeder grösseren Kraftäusserung noch durch längere Zeit kleinere Strahlen aussendet. Zwischen ihm und seinem Nachbarn Bienenkorb gewahrt man eine Menge fast mikroskopischer Geysirchen, „kleine Löcher, aus denen heisses Wasser emporgurgelt". Der Bienenkorb liefert alle 24 Stunden einen Ausbruch mit eleganter, hoher Dampfpinie (I, S. 382). Es folgt die Riesin („Giantess"), die sich von dem mit dem Kegel Grotto verbundenen Riesen („Giant") durch den Mangel jedweden Kraterbaus unterscheidet: für gewöhnlich ein kleiner Teich mit ruhigem, blauem Wasser, explodiert dieser Geysir stets zweimal im Monate und sieht dann — vgl. das Bild bei Peschel-Leipoldt [539] — einem starken Kunstspringbrunnen besonders ähnlich. Andererseits kommt der Turban ungemein häufig in seine Sprudelbewegung. Einst besonders kräftig, jetzt aber schon ermattet scheint der Schlossgeysir („Castle") zu sein, dessen äusserst mächtiger Krater an eine Burgruine erinnert. Durch seine herrliche, tiefblaue Farbe zeichnet sich aus der Haubengeysir; in ununterbrochener Aktion befinden sich die gelbe Schwammquelle und der Junge Getreue („Young Faithful"). Der Prächtige verdient diesen Namen wegen seiner eleganten Wassergarben; nicht minder die Punschbowle, ein mit regelmässiger Sinterumrandung versehener Kochbrunnen. Endlich ist noch des Fächers zu erwähnen, dessen Wasserstrahlen aus zwei Mündungen kommen und sich deshalb oft in eigenartiger Weise durchkreuzen. Da ist es denn nicht leicht, in diesem Gewirre mannigfaltigsten Wechsels, welches uns das Wort Geysir als einen echten Proteus erscheinen lässt, Ordnung zu schaffen. Peale (s. o.), dem sich Andreae [540] anschliesst, sondert auf Grund tiefgehender vergleichender Studien vier Hauptformen aus (es ist stets zugleich ein typischer Vertreter angegeben): I. Geysirs mit nur einer andauernden Wasser- und Dampferuption (Old Faithful); II. Geysirs, bei denen einer kürzeren Wasseremission ein länger anhaltender Dampfausbruch folgt (Castle); III. Geysirs, deren Ruhepause sehr lange dauert, worauf eine längere Wallungsperiode mit konsekutiven Stössen in kurzen Intervallen eintritt (Giantess);

IV. Geysirs, die sich von Gruppe II nur durch eine besondere Periode der Ausstossung von Dämpfen unterscheiden (Giant). Eine überaus merkwürdige Sache ist, dass man durch Einwerfen von Steinen, was allerdings jetzt strenge untersagt ist, oder auch durch Anseifen einzelne dieser Heisswasserbrunnen zu verfrühtem Aufwallen nötigen kann. Nach Raymund und Hague, über deren Versuche mit konzentrierter Kalilauge man einen Bericht von Diener [541] besitzt, sind einzelne Quellen, wie Giant und Giantess, gegen dieses Reizmittel vollkommen unempfindlich, wogegen der zu den jüngsten Bildungen zählende und vielleicht noch nicht in seinen Beharrungszustand eingetretene Monarch sehr entschieden auf Seifenwasser reagiert. Ueber die im Bereiche des Parkes vielfach anzutreffenden verkieselten Bäume verbreitet sich in interessanten Betrachtungen Kuntze [542]; doch wird gegen seine Ansicht, dass die Stämme aufrecht und in situ dem Prozesse der Mineralisierung verfallen seien, von Rothpletz [543] der Einwand erhoben, dass da, wo ein lebender Baum der Inkrustation ausgesetzt war, dieselbe nur eine dünne Decke über echtem Holze darstellte, während solche Stämme, die durch und durch verkieselt waren, gefallen und in Schichten eingebettet sein mussten, durch welche das mit Kieselsäure beschwerte Wasser frei zirkulieren konnte. Da,

Fig. 165.



wo lange Zeit hindurch kieselsäure- oder kalkhaltiges Wasser einen Baum umspülte, konnte er auch in seiner normalen Position petrifiziert werden, wie dies bei den versteinerten Wäldern Aegyptens [544] zutrifft. — In Süd- und Mittelamerika sind bislang eigentliche Geysirs nicht nachgewiesen worden. Prüft man aber gewisse Angaben bei Dollfus-De Montserrat [545] und Sapper [546], so möchte man fast glauben, es könne dies noch geschehen. Der beste Kenner Guatemalas schreibt: „Der sogenannte ‚Bequeron' ist eine grosse, vegetationslose Fläche, deren Anblick mit den allerorts aufwirbelnden Dampfwölkchen ganz an gewisse Gegenden erinnern muss." Offenbar hat Sapper die Puia-Gefilde (s. o.) Neu-Seelands im Auge.

Eine sehr eingehende historisch-kritische Analyse der bis zu jenem Zeitpunkte vorliegenden Geysirtheorien hat O. Lang [547] geliefert. Die ältere Theorie Makenzies [548], welche durch Krug von Nidda [549] einigermassen verbessert wurde, wird, wie auch Lang annimmt [550], für alle regelmässig speienden Geysirs (Kleiner Geysir in Island, Giantess etc.) wahrscheinlich der Wahrheit entsprechen. Der unterirdische Hohlraum A (Fig. 165) bezieht aus den Zuleitungsröhren a heisses Wasser, welches die Luft komprimiert und gleichzeitig mischt sich dieser hochgespannter Wasserdampf bei. Sobald in A das stets gleichbleibende Niveau m' m' und im Steigrohre das korrespondierende Niveau m m erreicht ist, sind die Dämpfe an der Grenze ihrer Zusammendrückbarkeit angekommen; sie explodieren, und der grösste Teil der angesammelten Wassermasse wird mit einem Knalleffekte hinausgeschleudert, worauf wieder das langsame Zuströmen des Wassers beginnt. — Da diese Erklärung für die sozusagen launenhaft arbeitenden Geysirs keinenfalls genügt, hat für diesen umfassenderen Typus Bunsens Theorie [551] sehr viel Beifall gefunden. Vor allem legt derselbe Gewicht darauf, dass die Springquelle sich ihr Steigrohr selbst aufgebaut hat; auch der „kraterartige Konus" (S. 807), der das Rohr oben abschliesst, ist durch Kieselsäureablagerungen entstanden, während im Rohre, das gegen Verdunstung

mehr geschützt ist, die Versinterung langsamer vor sich geht. Die von Bunsen und seinem Gefährten Descloizeaux im Geysirwasser vorgenommenen Thermometermessungen ergaben: Die Temperatur geht so weit über den Siedepunkt hinaus, dass eine rapide Verwandlung in Dampf unausbleiblich wäre, wenn nicht die auf der Bodenfläche lastende Wassersäule durch ihren Druck den molekularen Umsetzungsprozess unmöglich machte. Am 7. Juli stand um 3^h und 8^h nachmittags bei 14,75 m über der Basis das Thermometer bezüglich auf 106,4° und 110,0°; weiter unten natürlich noch viel höher. Die Abhängigkeit des Siedepunktes vom Drucke ist uns schon früher (S. 65) entgegengetreten. In Fig. 166 sehen wir Steigrohr nebst Mundloch und Speiseröhren a abgebildet; reichte das erhitzte Wasser nur bis C D, so würde die Explosion erfolgen, aber das Cylinderstück A B D C verhindert dieselbe, und dieses muss also erst weggeschafft sein, ehe der Geysir seine wahre Natur zu offenbaren vermag. Bunsen macht nun auf die stets zu beobachtende Vertikalbewegung von Dampfblasen aufmerksam; es findet, wie auch die Figur angibt, eine Vertikalzirkulation statt [552], indem heisses Wasser nach oben gelangt und, abgekühlt, wieder niedersinkt. Im Gefolge dieser Durchmengung der Schichten fangen kleine örtliche Eruptionen an, Wasserpartien aus dem Rohre hinauszuschleudern; die Ausbrüche steigern sich, und in dem Augenblicke, da gerade so viel Wasser entfernt ist, um dem Siedeprozesse in der unteren Säule Raum zu schaffen, kocht die ganze Masse rapid auf, eine totale Explosion erfolgt, und was im Steigrohre sich befand, wird als mit Wasser untermischter Dampf in die Luft geblasen. Für den Strokkr (S. 807) wurde von Bunsen postuliert [553], die eruptive Kraft müsse ihren Sitz in weit grösserer, dem direkten Versuche unzugänglicher Tiefe haben. Diese Anschauungen haben etwas äusserst Bestechendes, wie denn insbesondere Zoeppritz [554] sich entschieden dafür erklärte, aber sie fanden auch Gegner: Peale (s. o.), Comstock [555] und Lang [556]. Letzterer findet es unerklärlich, dass eine immer noch so beträchtliche Wassermasse mit einem Schlage zum Aufkochen gebracht werden könne, und verlegt den Sitz der Explosion in ein mit dem Steigrohre natürlich zusammenhängendes System von subterranen Röhren. Lang denkt sich das Mundrohr A (Fig. 167) in ein Knie-

Fig. 166.

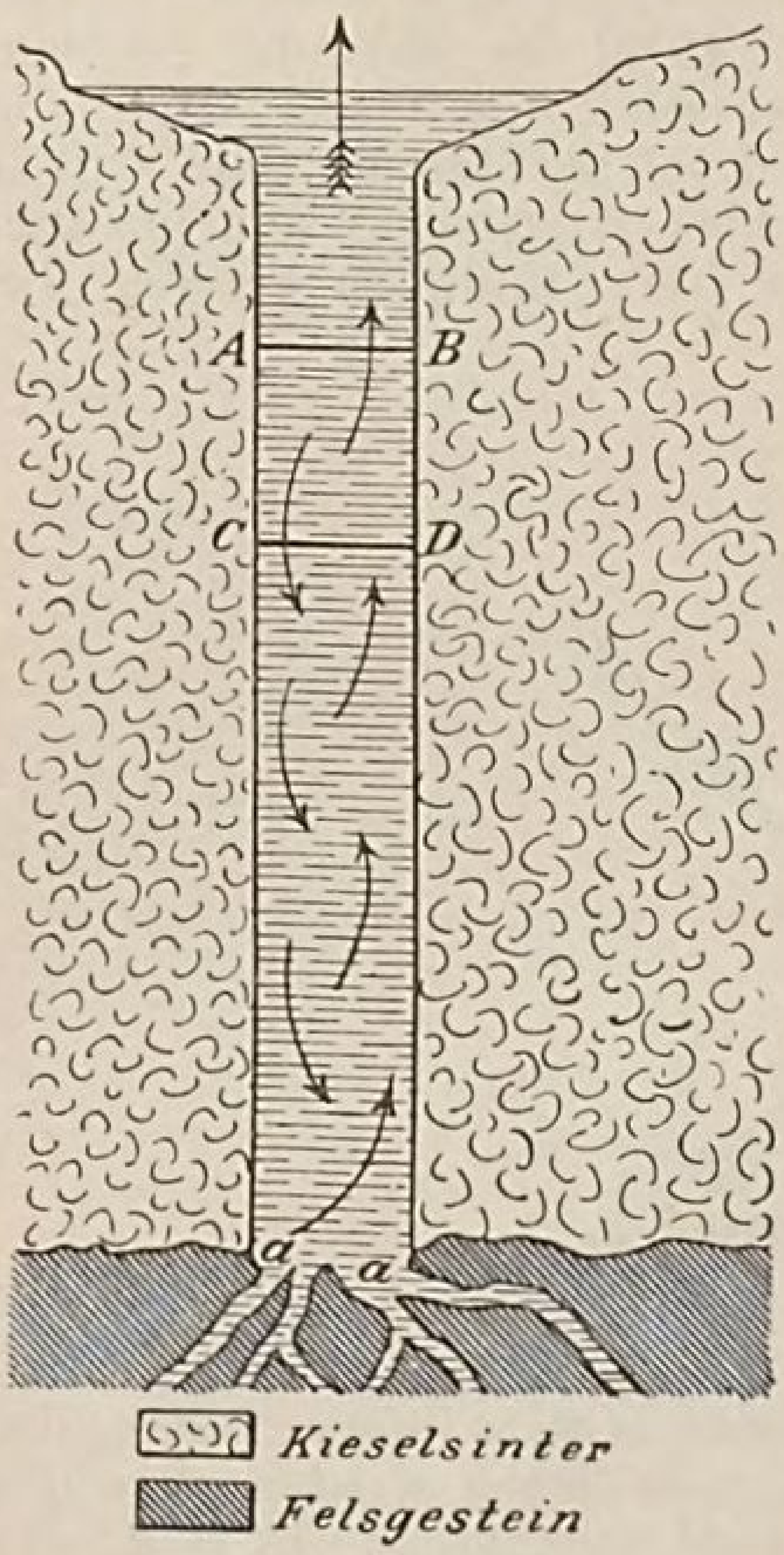
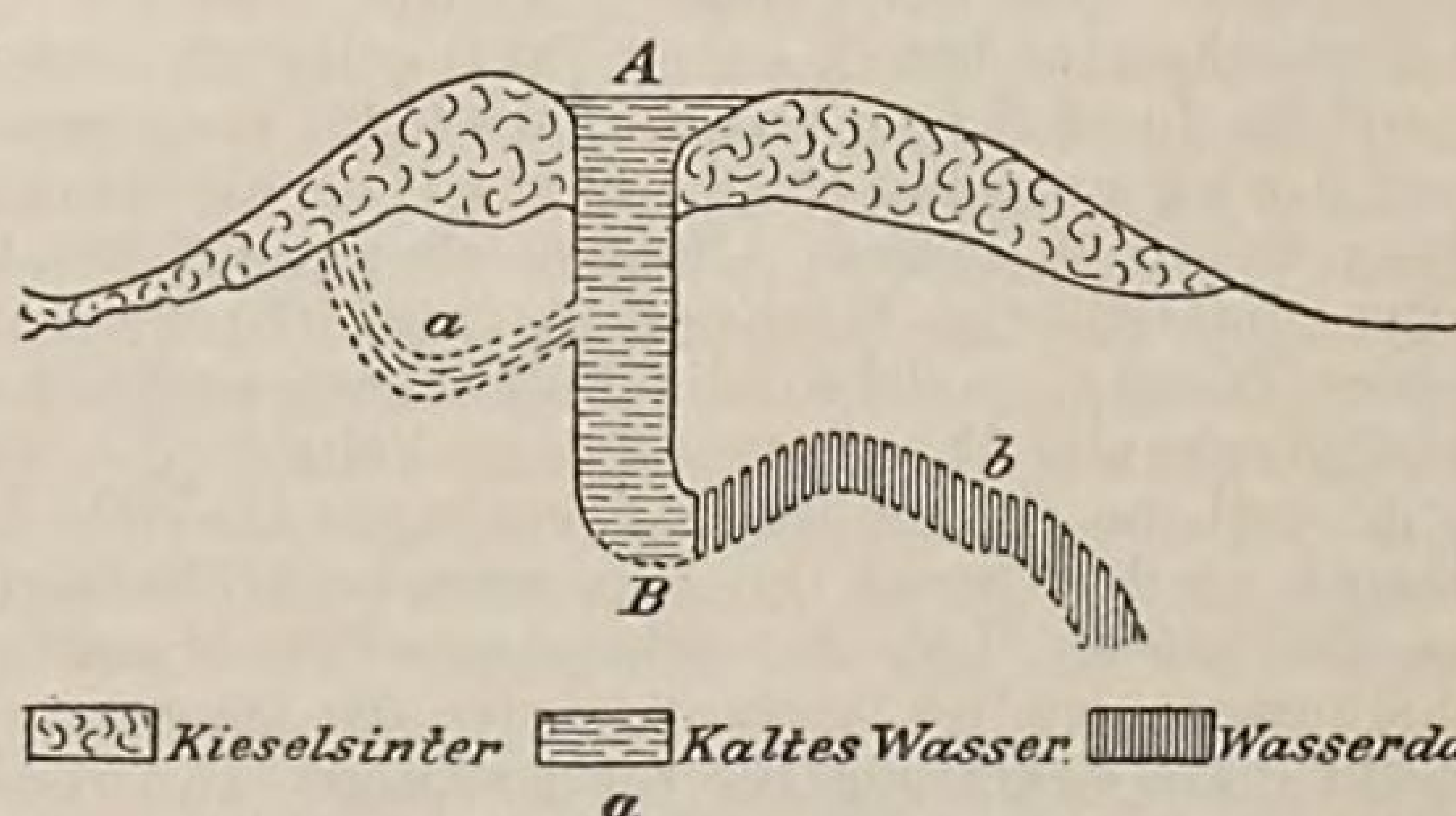


Fig. 167.



rohr b auslaufend; das in A befindliche, bis B reichende Wasser bildet ihm zufolge den hydraulischen Verschluss, den die jenseits B anhebende Dampfentwickelung gewaltsam entfernt. Durch ein zweites Knierohr a von umgekehrter Knickung

soll alsdann kaltes Wasser zuströmen, das sich langsam erwärmt, bis ein zweiter Paroxysmus es wieder beseitigt. Undichtwerden des Röhrenverschlusses bewirke, dass der Geysir zuerst erlahme und nachgerade seine Thätigkeit einstelle. Gewiss ist auch Langs Hypothese eine geistreiche und mit physikalischen Gesetzen steht sie nicht in Widerspruch, aber eine gewisse Komplikation ist der Konstruktion der internen Rohrverbindungen auch nicht abzusprechen. Wir halten es hinsichtlich aller dieser Erklärungsarten mit Ebert, der (vgl. S. 656) den sehr beherzigenswerten Satz formuliert [557]: „Soviel dürfte feststehen, dass die neueren Erforschungen der genannten Gebiete uns eine solche Mannigfaltigkeit der vorliegenden Erscheinungsgruppe kennen gelehrt haben, dass wohl schwerlich eine einzige Theorie heute allen Einzelheiten gerecht zu werden im stande ist.“

An die Möglichkeit, eine experimentelle Nachbildung des Geysirphänomenes ins Werk zu setzen, ist schon vor längerer Zeit gedacht worden; J. Müller [558] und K. L. Bauer [559] haben Apparate zu diesem Zwecke angegeben. Es folgte dann G. Wiedemann [560], dessen Modell Ebert (s. o.) insbesondere dazu verwertete, die von Lang (s. o.) angezweifelte Bunsensche Lehre in einem Hauptpunkte zu bekräftigen; die Wassermassen im Steigrohre können sehr wohl selbst die Rolle automatischer Verschlüsse übernehmen, welche sich dann bei einem gewissen Dampfdruck plötzlich öffnen. Der Auffassung Langs passte J. Petersen [561] sein Instrument an, indem er die Dampfentwickelung in ein besonderes Zuleitungsrohr verlegte. Endlich sind noch die Experimente Andreaes [562] zu nennen, von allen wohl die meist variierten, aus denen hervorgeht, dass man doch mit dem Laboratoriumsversuche der bunten Abwechselung, wie sie die Eigenart der intermittierenden Heisswasserfontänen ist, recht nahe kommen kann. Ebert bemerkt [563], dass mit Wiedemanns Apparate auch die periodischen Schlammsprudel (I, S. 377) gut nachgeahmt werden können; er selbst hat schon früher (I, S. 126) die Mondringgebirge auf solche Art im kleinen dargestellt [564] und hebt hervor, dass Wellmanns [565] Auslegung der Entstehung der lunaren Kraterbecken sich nahe mit seiner eigenen Charakteristik dieses Vorganges berühre.

Somit haben wir die wichtigsten Formen kennen gelernt, unter welchen Quellen in der Natur auftreten. Wir sahen, dass unter dem Eindrucke der neuen Untersuchungen, deren Richtung die klassischen Arbeiten Daubrées (S. 787) bestimmt haben, allmählich jeder Zweifel an der meteorischen Abstammung des Quellwassers geschwunden und eine tiefe Einsicht in dessen Zirkulation innerhalb der oberen Erdschichten erzielt worden ist. Dabei hat das an subterranen Herden sich erwärmende Wasser in zugleich zerstörendem und herstellendem Sinne gewirkt; hier wurden Hohlräume geschaffen, dort Mineralbildungen eingeleitet. Nach Daubrée steht der phreatische (S. 796) Wasserverkehr in viel engerem Zusammenhange mit vulkanischen und seismischen Geschehnissen, als gemeinhin angenommen zu werden pflegt.

Es wurde auch (I, S. 381, 453) solcher Beziehungen früher schon gedacht. Wenn man, im Anschlusse an die von A. Heim [566] durchgeführte Erörterung der Umstände, welche auf die Quellerträge Einfluss nehmen, sich vergegenwärtigt, dass schon eine geringfügige Verschiebung der Schichten einen Wasserlauf aufzuhalten oder abzuschwächen vermag, so wird man es begreiflich finden, dass zumal Erdbeben so häufig die Quellbildung beeinträchtigen. Gleichwohl geht z. B. aus den Temperatur- und Quantitätsbestimmungen der Karlsbader Quellen, welche Knett [567] anlässlich des westböhmischen Erdbebens von 1897 vorgenommen hat, unweigerlich hervor, dass diesem gegenüber jene Mineralsprudel sich vollkommen neutral verhalten hatten. Vor Ueberschätzung jener endogenen Einwirkungen wird man sich also doch auch zu hüten haben.

§. 9. **Das fliessende Wasser.** In seinem ansprechenden Essay [568] über die Potamologie (Flusskunde; von ποταμός, Fluss) stellt Penck diesen Teil der allgemeinen Hydrologie als gleichberechtigt der

Meeres- und Seenkunde zur Seite, indem er zugleich deren wissenschaftliche Pflichten in scharfen Umrissen kennzeichnet. Allerdings meint derselbe Autor [569], eine Monographie des fliessenden Wassers sei erst noch zu schreiben. Man kann sich hiemit einverstanden erklären, aber es ist doch nicht abzustreiten, dass auf der einen Seite durch die Thätigkeit der Physiker und Hydrotechniker (Wasserbautechniker) und auf der anderen Seite durch die der Geographen die Materialien zu einem systematischen Lehrgebäude der Disziplin reichlich zusammengetragen worden sind. Die nächsten Paragraphen werden, wir wir hoffen, diesen Ausspruch bekräftigen.

Dem Altertum und Mittelalter gebrach es ganz an tieferer Einsicht in die Gesetze des fliessenden Wassers. Man hielt u. a. zähe an dem Dogma fest, dass grosse Flüsse immer von hohen Bergen herkommen müssten; es galt bis ins XVI. Jahrhundert hinein, wo dann J. Eck (I, S. 14) die mit der Hypothese einer hohen Wasserscheide im Inneren Russlands aufräumende Schrift des Polen Miechow [570] in Deutschland bekannt machte [571]: „De Tanai quod vel ex hyperboreis rypheis montibus oriatur, commentum docet et grecam fabulam Mattheus Monchabita Cracoviensis, canonicus: quippe qui neget ullas montes altos esse supra Tanaim, sed planissimam terram paludosam, fluviis plurimis irrigatam.“ Wie sonderbar die Araber über Flussgabelungen und Flussverbindungen dachten, ist bekannt [572], und auch auf diesen Wegen ist ihnen das Abendland nachgefolgt. Eine auffällig zutreffende Ahnung des Wahren begegnet uns bei dem Volksdichter Hans Sachs, wie Zimmerer berichtet [573]; derselbe sieht ein, dass es mit der Aufzählung von Flussnamen nicht gethan sei; von Rechts wegen habe er, so schreibt er, von jedem Fluss-Individuum hinzufügen sollen „yedes schaden oder nutzbarkeit, sein schnelle, grösse oder tieff“. Die erste diesen Namen verdienende Behandlung der Flusskunde ist die des Varenius [574], die denn auch insofern Schule gemacht hat, als seit jener Zeit die allermeisten Lehrbücher der physischen Erdkunde die notwendigsten Mitteilungen hierüber enthalten. In neuerer Zeit hat Munckes Lexikon-Artikel [575] „Strom“ den damals (1836) gestellten Anforderungen gut entsprochen; seitdem hat es, wie erwähnt, unter dem geographischen Gesichtspunkte an umfassenden Darstellungen sehr gemangelt. Ein zumal für den Praktiker nützliches, mit zahlreichen Tabellen ausgestattetes Werk von Beardmore [576] ist leider in unserer Sprache ohne Konkurrenten geblieben, doch bieten dafür die den Handbüchern der Strombaukunst eingefügten physikalischen Abschnitte bei Hagen [577] und Franzius-Sonne [578] einigen Ersatz. Auch eine Schrift von Harder [579] ist nicht zu vernachlässigen.

An die Spitze stellen wir die geographischen Begriffe von Flussgebiet, Flusslauf, Gefälle u. s. w. Nächstdem verlangen Beachtung die Wassermenge und die Geschwindigkeit des im Flusse fortbewegten Wassers; wir haben Mittel anzugeben, wie man beides misst, und namentlich zuzusehen, wie sich die Geschwindigkeiten innerhalb des Flussquerschnittes verteilen. Von grossem Belange ist die Aufdeckung der Abhängigkeit der Wasserhaltung des Flusses von den meteorologischen Faktoren. Noch viel zu wenig ist, wie Penck [580] bemerkt, auf die geographische Verteilung des rinnenden Wassers Gewicht gelegt worden. Weiter haben wir den vom Wasser mit fortgeführten Fremdkörpern, zu denen auch in gewissem Sinne das Flusseis gehört, unser Augenmerk zu widmen. Eine besondere Untersuchung verdient ferner das Verhalten des Flusswassers zu dem Grundwasserstrome des umgebenden Terrains. Endlich kommen die Ueberschwemmungen an die Reihe, und ganz von selbst leiten diese über zu einer besonderen Form von Wasserläufen, nämlich zu denjenigen, welche durch den Mangel eines richtigen Bettes und damit auch durch hochgradige Ueberschwemmungsgefahr charakterisiert sind, zu den Wildbächen. Durchaus wird in diesem Kapitel von den eigentlich morphologischen Faktoren, also namentlich auch von der Gestaltung der Flussbetten abgesehen, weil hiefür das Schlusskapitel einzutreten hat.

Jeder Wasserlauf, einerlei ob Bach oder Fluss, stammt aus einer Quelle (Ursprung) oder aus einem dieselbe vertretenden Behälter stehenden Wassers, einem Quellsee. Eine irgend scharfe Trennung der Begriffe Bach, Fluss, Strom können wir nicht machen; es

findet vielmehr ein unmerklicher Uebergang statt. Jeder Wasserlauf erreicht sein Ende; sei es durch Einmündung in einen anderen Fluss, in einen See, in das Meer oder durch anscheinend freiwilliges Aufhören, worüber eben §. 12 Aufschluss geben wird. Den ständigen Gerinnen oder perennierenden Wasserläufen stehen die unbeständigen Gerinne gegenüber [581], in Italien als Fiumaren (S. 299), im Bereiche der arabischen Sprache, vorab also im Wüstengebiete, als Wadis bekannt; erstere führen wenigstens in der kalten Jahreszeit immer Wasser, während ein Wadi nicht selten jahrelang eine ausgetrocknete Bodenrinne darstellt. Terrainschwellen, welche nicht zusammengehörige Wasserläufe trennen und nur in den seltenen Fällen der Bifurkation (Stromteilung) und Flussvermischung ihrer topographischen Eigenart vorübergehend oder dauernd beraubt werden, sind die Wasserscheiden, deren Studium der Morphologie vorbehalten bleibt. Die generellen physikalischen Eigenschaften des Süsswassers, wie sie in den Spezialfällen der Seen und Quellen uns beschäftigt hatten, bilden dann auch für den Fall, in dem dieses Wasser sich in Bewegung befindet, ein Forschungsobjekt.

Es ist oft schwierig, wo nicht unmöglich, die eigentliche Quelle eines Stromes zu finden. Wenn O. Baumann [582] die Quelle des Kagera zugleich als die seit Jahrtausenden gesuchte Nilquelle anspricht, so werden vielleicht andere Afrikaforscher diese Bestimmung als eine zu sehr von subjektiven Eindrücken geleitete ablehnen. Von Aventin und dem grossen Chorographen Ph. Apian (I, S. 304) bis zur neuesten Zeit war man über die wahre Isarquelle uneinig, bis dann C. Gruber [583] den Punkt ausfindig machte, von welchem ab das Wasser kontinuierlich läuft; derselbe wird mithin als Ursprung des Flusses zu gelten haben. Gleicherweise zeigt Camerlander [584], wie lange Zeit die Ansichten über die Stelle des richtigen Oderursprunges schwankend gewesen sind.

Den Begriff des Stromgebietes (bassin) hat Boussinesq [585] in seinem noch nicht genügend ausgenützten Werke über die Lehre vom bewegten Wasser und deren Beziehungen zum Gelände scharf definiert. Ein in die Landoberfläche eingesenkter, zusammenhängender Hohlraum wird von einer Linie durchschnitten, welcher sämtliche Linien stärksten Falles (lignes de la plus grande pente) asymptotisch zustreben, so dass also diese Vereinigung möglichst weit hinausgerückt erscheint. Der Hohlraum ist eben das Strombecken, wie man auch sagen kann; die ausgezeichnete Hauptlinie ist der Thalweg (S. 708). Die geometrische Betrachtung thut dar [586], dass, falls das Bassin eine Fläche von geometrischer Regelmässigkeit ist, sämtliche Fallinien den Thalweg erst in dessen unendlich fernem Punkte erreichen; thatsächlich fallen die Verhältnisse also so aus, dass die Fallinien den Thalweg unter sehr spitzen Winkeln treffen, und dass für das Gegenteil gewöhnlich ein ganz bestimmtes Motiv ausgemittelt werden kann. Nehmen wir die Uebertragung aus der geometrischen in die hydrographische Sprache vor, so gelangen wir zu den folgenden Begriffsbestimmungen: Hauptfluss deckt sich mit Thalweg, Nebenfluss mit Linie grössten Falles. Insofern ein Stück der Beckenumrandung selbständig herausgegriffen werden kann, lässt sich auch jedem Nebenflusse wieder ein System von Zuflüssen und jedem Zuflusse wieder ein System von Beiflüssen zuordnen (Rhein = Strom oder Hauptfluss, Main = Nebenfluss, Regnitz = Zufluss, Pegnitz = Beifluss). Wir sehen folglich, dass Flüsse $(n+1)$ter Ordnung, um ganz allgemein zu sprechen, dem für sie als Sammelkanal dienenden Flusse nter Ordnung sich durchweg unter kleinen Winkeln nähern und oft nahezu parallel dahinfliessen. Zahllose Beispiele bietet, wie Peschels in diesem Falle sehr zweckmässige Kartenstudien [587] (vgl. I, S. 34) ersehen lassen, jedes grössere Stromsystem (Po, Donau in Bayern, Amazonas). Vielleicht der schärfst ausgeprägte Beleg wird durch den Ausfluss des Orta-Sees dargeboten, des einzigen oberitalienischen Sees, welcher sich nicht nach Süden, sondern nach Norden entwässert, wie dies De Agostini [588] näher ausführt. Genau in entgegengesetzter Richtung nähert sich der starke Bach der von Norden herankommenden Toce, und unmittelbar vor der Vereinigung biegt

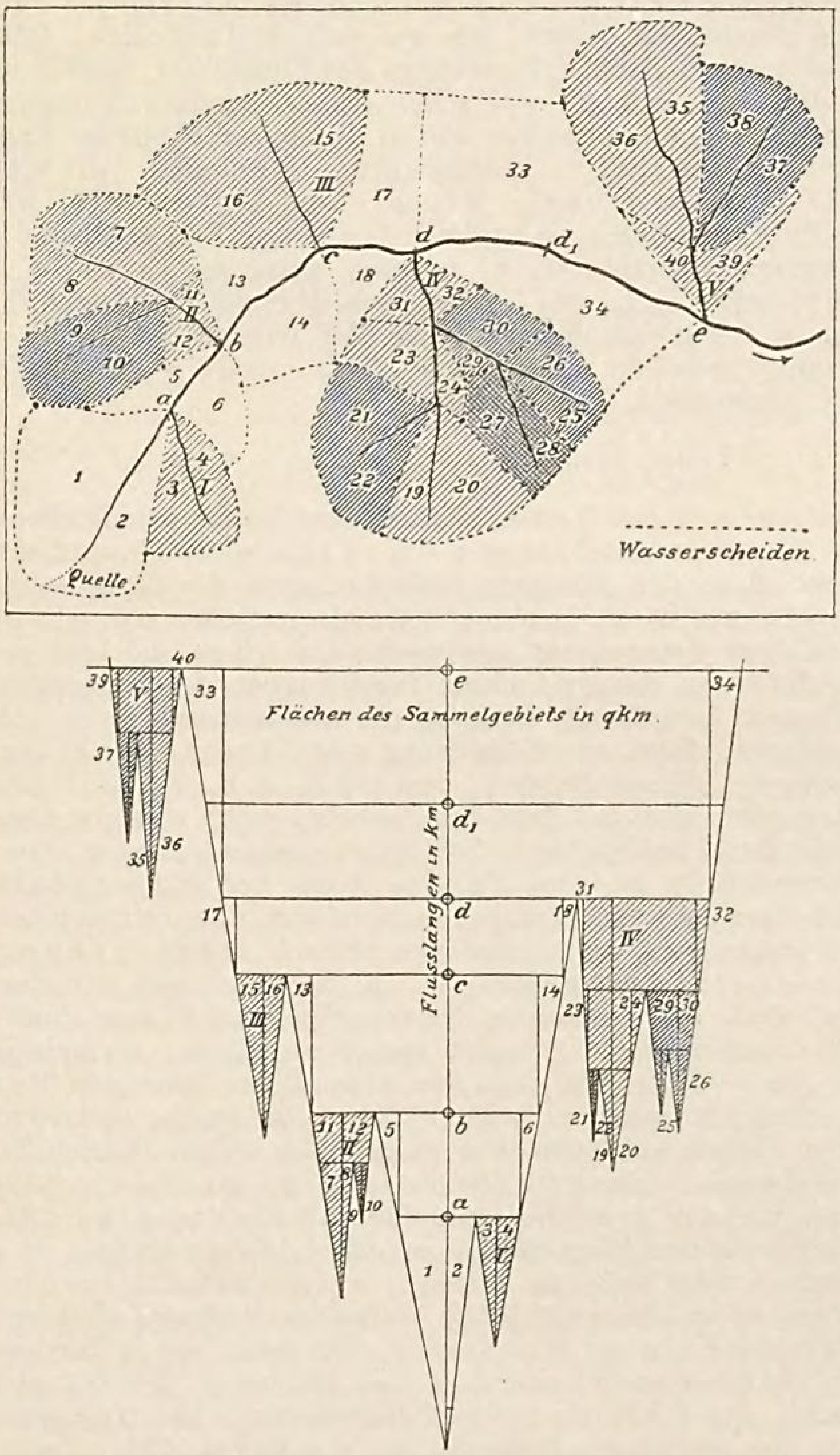
er fast rechtwinklig um, so dass der Zusammenfluss in der auch sonst bekannten Weise stattfindet. Nebenflüsse, die angenähert rechtwinklig ihren Hauptfluss treffen, sind ungleich seltener zu treffen; man kann sie mit Recht als untergeordnete Flüsse bezeichnen [589]. Wer eine Spezialkarte zuzieht, erkennt, dass selbst der Lech vor seiner Mündung in die Donau, der Main vor seiner Mündung in den Rhein die charakteristische Ablenkung erleidet. — Vielleicht lässt sich durch eine solche topographische Untersuchung die Frage nach den Kriterien von Haupt- und Nebenfluss zur am meisten befriedigenden Entscheidung bringen. Was die Erdkunde für sich allein zu leisten vermag, lehrt uns die auf umfassendsten Litteraturstudien beruhende Monographie von Wisotzki [590]. Man gewinnt aus ihr die Ueberzeugung, dass Lauflänge, Breite, Tiefe, Meereshöhe des Ursprunges, Zahl der tributären, d. h. einmündenden Wasserläufe, Wassermasse und Areal des Beckens keine eindeutigen Kennzeichen liefern [591], dass vielmehr eine Berücksichtigung verschiedener Momente erfordert wird. Wir können uns, weil dieselben sich völlig mit dem Resultate der stereometrischen Analyse (s. o.) in Einklang setzen lassen, ganz gut mit nachstehenden Sätzen Wisotzkis [592] einverstanden erklären: „Als charakteristisches, unterscheidendes Merkmal erweist sich allein die Lage, in ihrer vertikalen wie horizontalen Erscheinung, unter steter Beachtung der Gesamtverhältnisse des betreffenden Gebietes. Auch selbständig das Meer erreichende Flüsse sind als Nebenflüsse zu bezeichnen, sobald sie eine mit anderen Nebenflüssen des betreffenden Systemes gleichartige Lage besitzen.“ Demgemäss lassen sich Etsch und Brenta als Po-Nebenflüsse auffassen, wie man denn auch nach Penck [593] zwischen dem Unterlaufe der Etsch und den Betten des Po und Bachiglione zur Zeit starken Wasserzuflusses kaum mehr eine deutliche Scheidung vorzunehmen im stande ist.

Arealmessungen von Stromgebieten sind in neuerer Zeit mehrfach durchgeführt worden. Eine überaus fleissige Arbeit ist diejenige von Bludau [594], durch welche für die bedeutenderen Stromsysteme der Erde genaue Flächenzahlen erhalten wurden; als Methode diente die Addition der Netzquadrate (I, S. 318). Aber auch davon abgesehen, fehlt es nicht an sorgfältig ausgeführten Einzelbestimmungen. Z. B. gibt die vom hydrotechnischen Bureau in Berlin herausgegebene hydrographische Karte Norddeutschlands für die Bassins grösserer deutscher Ströme folgende Zahlen (in Quadratkilometer): Memel 93535, Pregel 15030, Weichsel 196490, Oder 118611 (wovon fast die Hälfte dem Flussgebiete der Warthe zukommt), Elbe 146930, Weser 45862, Ems 13036, Rhein 160023. Württembergs Flussgebiete hat Regelmann planimetrisch und geographisch festgelegt [595]. Das Substrat für weitere Bestimmungen dieser Art in unserem Vaterlande bieten die verdienstvollen hydrographischen Karten Bayerns (3 Teile, 1881—88), Badens (1885) und des Reiches [596], über welche alle Forster [597] Bericht erstattet hat. Regelmann liess seinen früheren Arbeiten noch eine weitere kartographische Darstellung [598] von grossem Verdienste folgen, welche auch die wechselnde Durchlässigkeit des Bodens gegenüber dem Regenwasser zur Anschauung bringt; drei Färbungen lassen den Grad der Permeabilität übersichtlich hervortreten. Für Russlands Gewässer liegen die Angaben Strelbitzkys [599], für diejenigen Erdstromgebiete, denen eine gewisse Bedeutung zukommt, liegen die Angaben Murrays [600] vor. Aus v. Klödens Nachlasse [601] wurde eine recht brauchbare Tabelle herausgegeben, welche Mündungsmeer, Lauflänge, Meeresabstand der Quelle in der Luftlinie und Flächeninhalt des Bassins zusammenstellt. Davon, dass die Ermittlung der wahren Lauflänge keine leichte Sache ist, war bereits (I, S. 316) die Rede. Mit grossem Eifer unterzog sich dieser Aufgabe v. Tillo [602], nachdem er mit den russischen Strömen den Anfang gemacht hatte [603]. — Im allgemeinen wird man natürlich nicht erwarten dürfen, dass sich die Längen zweier Flüsse wie die Flächenräume ihrer Systeme zu einander verhalten; indessen trifft eine solche Proportion doch öfters recht genau zu, so z. B., wie Tillos Zahlen (s. o.) ausweisen, bei Dnjepr und Don. In Spanien ist nach Torres Campos [604] z. B. für Ebro (λ_e), Duero (λ_d) und Tajo (λ_t) resp. die Lauflänge = 928, 928 und 944 in Kilometern zu setzen, so dass alle drei Flüsse so gut wie gleich lang sind ($\lambda_d = \lambda_e < \lambda_t$), wogegen für die erwähnten Areale (f_e, f_d und f_t) diese Zahlen (in Quadratkilometern) bestehen: $f_e = 86000$, $f_t = 81400$, $f_d = 113059$, so dass also $f_d > f_e > f_t$ wird. Bezeichnet man die analogen Indices für Guadiana und Guadalquivir bezüglich mit gn und gr, so ist $\lambda_{gn} = 722$, $\lambda_{gr} = 680$, $f_{gn} = 68400$, $f_{gr} = 64500$, und nun besteht fast ganz exakt die Proportion: $\lambda_{gn} : \lambda_{gr} = f_{gn} : f_{gr} = 1{,}06$.

Die kartographische Wiedergabe der einschlägigen Verhältnisse kann auf verschiedene Arten erfolgen. Auf einer genauen Karte, welche so, wie dies

auch Imbeaux [605] vorschlägt, das Flussystem in der Gestalt eines sich nach oben verästelnden Baumes veranschaulicht, kann man die einzelnen Teilstromsysteme, dem Zuge der Wasserscheiden folgend, abgrenzen, die so erhaltenen Gebiete ausmessen und auf die erzielten Zahlenergebnisse eine Koordinatendarstellung gründen, wie sie Stecher [606] in Anregung gebracht hat, und wie sie aus Fig. 168 ersichtlich ist. Allerdings ist das Ziehen einer Grenz-

Fig. 168.



linie nicht überall so leicht, wie zumeist in unseren Gebirgsländern, und selbst da ergeben sich unerwartete Schwierigkeiten. Auch da gibt es nämlich Bezirke, denen eine klar ausgesprochene Oberflächenentwässerung mangelt; Sümpfe, Karstboden, unbestimmte Wasserscheiden bewirken, dass solche Flächenräume den normalen Verlauf unterbrechen. Penck liess [607] durch Gavazzi und Müllner das Planimeter (I, S. 318) auf zwei schärfer markierte Vorkommnisse dieser Art anwenden, und da fanden sich in Kroatien-Slavonien 9373 qkm und im Traungebiete 785 qkm ohne nachweisbaren oberirdischen Abfluss. In Tropengebieten andererseits, wo die Fluten der Regenzeit verwischend auf die ohne-

hin oft recht schwächlichen Wasserscheiden wirken, findet ein wechselseitiges Uebergreifen der Strombecken statt, wenn z. B. Moräste (S. 782) sich dazwischen schieben oder aus den überfüllten Erdschwämmen (S. 783) das Wasser nach allen Seiten abfliesst. Livingstone, Junker, Cameron, Serpa Pinto u. a. haben in den Regionen, welche das Kongosystem von den Gebieten des Nil und des Zambesi trennen, oft genug solche Wahrnehmungen machen können, und wer Chavannes Buch [608] nachschlägt, kann sich über die Notwendigkeit solchen Ineinanderfliessens der Gebietsgrenzen orientieren.

Unter Stromentwickelung will v. Sonklar [609] die Vereinigung aller jener Merkmale verstanden wissen, wie sie sich in Lauflänge, Quelldistanz vom Meere (oder Flussende, S. 814), Krümmungen des Flusslaufes, Gefälle und Mündungsform manifestieren. Die letztere war schon früher Gegenstand unserer Betrachtung (S. 622); die Krümmungen verweisen wir in das morphologische Kapitel; das Gefälle hingegen hat uns jetzt zu beschäftigen. Gewöhnlich teilt man schematisch die Laufstrecke in einen Ober-, Mittel- und Unterlauf; wären alle drei Strecken geradlinig, und fielen sie zugleich in dieselbe Vertikalebene, welcher Flussanfang und Flussende angehören, so müsste, unter φ_0, φ_m und φ_u die Neigungswinkel der drei Strecken l_0, l_m und l_u gegen den Horizont verstanden, $\varphi_0 > \varphi_m > \varphi_u$ sein. Dagegen ist für gewöhnliche Ströme fast durchweg $l_0 < l_m < l_u$. Unter l die Luftentfernung zwischen Anfang und Ende, unter φ deren Winkel mit der Horizontalebene verstehend, können wir

$$l \cos \varphi = l_0 \cos \varphi_0 + l_m \cos \varphi_m + l_u \cos \varphi_u$$

setzen, während, wenn h den Vertikalabstand der Quelle vom Niveau des den Fluss aufnehmenden Meeres bedeutet, $\operatorname{tang} \varphi = h : l$ sein wird. Dass diese schematische Einteilung nicht eben den höchsten Anforderungen des Geographen genügt, bemerkt Haase [610] mit Recht, indem er vielmehr zwischen Berglauf und Flachlauf, als wirklichen Gegensätzen, unterschieden wissen möchte. — Durchschnittlich ist das Gefälle ein stetiges; akute Aenderungen des Neigungswinkels, unter welchem das Wasser dahinfliesst, kommen nur ausnahmsweise vor. Starke Neigung, zumal in Flussengen, führt zur Entstehung von Stromschnellen oder Katarakten (καταράκτης, Wasserstrudel), von denen z. B. der Nil zwischen Atbaramündung und Assuan, also auf 1800 km Distanz, nicht weniger denn 20 aufweist, die allerdings die Reisehandbücher in 7 Gruppen zusammenfassen. Grundverschieden von einer Stromschnelle ist dem Prinzipe nach der Wasserfall (Kaskade; engl. Fall, ital. cascata, von cascare, herabfallen), denn ein solcher kann nur an einer Stelle zu finden sein, an welcher eine jähe Unterbrechung der Stetigkeit des Flussbettes eingetreten ist. Aeusserlich zeigt sich der Gegensatz in dem Umstande, dass sehr gewandte Ortskundige mit Flössen und leichten Fahrzeugen über Stromschnellen hinwegzukommen vermögen, niemals jedoch über — auch nur niedrige — Fälle. In ganz ähnlichem Sinne lässt sich Penck über den Unterschied vernehmen, indem er beifügt [611]: „Zahlreiche und allmähliche Uebergänge verbinden die beiden Typen, von welchen der erstere die Schiffahrt erschwert, der letztere sie dagegen hemmt.“ Die Fallinie, mit Davis [612] zu sprechen, ist eben einfach unstetig geworden, mit einem Knickungspunkte behaftet. — Was unser Wissen von den Wasserfällen im Jahre 1836 darstellte, ist aus Munckes schon erwähntem Artikel [613] zu ersehen; später haben Gibson und Wetsch Zusammenstellungen veröffentlicht [614]. Besonders bekannt sind im mittleren und südlichen Europa der Krimler Wasserfall (Pinzgau), der in Terrassen 430 m hoch herabfällt, der Gollinger Wasserfall (bei Salzburg), der Staubbachfall (im Berner Oberland), der Rheinfall (bei Schaffhausen), der Gavarniefall (in den Pyrenäen) mit der gewaltigen Gesamthöhe von 390 m [615], die Caduta della Marmore bei Terni, schon den Alten bekannt und neuerdings von Pennesi beschrieben [616], endlich die Cetino- und Kerkafälle in Dalmatien [617]. Grossartig entwickelt ist das Phänomen im gebirgigen Skandinavien; wir nennen den Trollhättanfall, den der Götaelf bildet und der nicht durch seine Höhe, wohl aber durch die riesige abstürzende Wassermasse imponiert [618]; den Rjukanfos (norweg. = rauchender Fall) am Berge Gausta in Thelemarken, 245 m hoch fast lotrecht abfallend [619]; endlich den Hönefos, welchen der Drammenself bildet [620]. Der finnländische Imátrafall wird, obwohl seine Höhe nach Wetsch (s. o.) nur 10 m beträgt, trotzdem den reizvollsten Naturszenen unseres Erdteiles zugerechnet. — Asiens wasserfallreichste Gegend ist der Himálaya; am oberen Ganges und am oberen Tigris findet [621] man namhafte Fälle, und auch Borneo, dessen Flüsse

sonst träge dahinschleichen, soll einen auf 30 km Entfernung sichtbaren Fall im Küstengebirge besitzen [622]. — Afrikanische Wasserfälle, in erster Linie diejenigen des Zambesi, erläutert Pfaff [623] durch Abbildungen. Von den viel besprochenen Fällen des Kongo lässt Pechuel-Lösche [624] nur den Isangilafall als solchen gelten, während er alle übrigen wesentlich als gewaltige Katarakte (s. o.) angesprochen sehen will. — Südamerika besitzt in Guyana einen Wasserfall [625], der hinsichtlich seiner Raketenschweifform dem Staubbache (s. o.) sehr zu ähneln scheint; ferner ist der brasilianische São Francisco mit einer Stromstufe von 80 m Höhe zu nennen. — Von den zehr zahlreichen Kaskaden Nordamerikas ist es einer, dem mit Recht Weltruf zukommt, der den Entwässerungsstrom des Erie-Sees zum Ontario-See fortleitende Niagara. Der Amerikanische Fall ist 330 m, der von ihm durch eine Felsnase geschiedene Hufeisenfall 578 m breit; diese Ausdehnung, der ein stündlicher Wasserabsturz von 30 Mill. cbm entspricht, bringt trotz der nicht ungewöhnlichen Höhe von einigen 40 m einen um so grossartigeren Totaleindruck hervor, weil das Wasser in parabolischem Bogen sich über die steile Felswand wälzt, so dass man zwischen dieser und dem Wassermantel einhergehen kann. Die geologische und sonstige Geschichte des Falles, der durch eine Riesenturbine nebst elektrischer Kraftübertragung weitum industrielle Anlagen alimentiert, hat Hollay [626] geschrieben. Die schöne Hufeisenform ist allerdings durch einen am 17. November 1877 erfolgten Felsbruch auf der kanadischen Seite etwas beschädigt worden [627]. — Die Brüder Heim haben [628] das Geräusch der Wasserfälle einer akustischen Prüfung unterworfen und gefunden, dass der C-dur-Dreiklang um so klarer zu erkennen war, je freier das Wasser in sein Becken fiel, dass aber daneben auch die Töne C, E, G, F, letzterer besonders ausgesprochen, bei allen rauschenden Gewässern in verschiedenen Oktaven sich wiederholen.

Wenn wir nunmehr von den physikalischen Eigenschaften des Flusswassers zu handeln beginnen, so brauchen wir bezüglich der Farbe und Durchsichtigkeit nur wesentlich an das zu erinnern, was in Abt. VI, Kap. I, sowie in §. 2 dieses Kapitels beigebracht wurde. Manche Wasserläufe, zumal die aus dem Kalkgebirge kommenden, sind so tiefblau gefärbt, dass die Forelsche Skala (S. 385) zur Bestimmung des Pigmentierungsgrades nicht mehr hinreicht. Martel zieht [629] aus Gérardins Versuchen den Schluss, dass kleine Mengen Calciumchlorür sich mit den Kalkteilchen verbunden und einen Niederschlag hervorgerufen haben. Des ferneren haben die sogenannten schwarzen Flüsse Südamerikas seit Humboldt den Gelehrten Stoff zum Nachdenken gegeben. Derselbe erzählt [630] anlässlich seiner Reisen im Orinokogebiete: „In dem oberen Teile des Flussgebietes, zwischen dem 3. und 4. Grade n. Br., hat die Natur die rätselhafte Erscheinung der sogenannten schwarzen Wasser mehrmals wiederholt. Der Atabapo . . ., der Temi, Tuamini und Guainia sind Flüsse von kaffeebrauner Farbe. Diese Farbe geht im Schatten der Palmengebüsche fast ins Tintenschwarze über. In durchsichtigen Gefässen ist das Wasser goldgelb.“ Die von Müntz und Aubin gegebene Erklärung [631], dass frei gelöste Huminsäuren, enstanden durch Zersetzung organischer Substanzen in Ackerkrume oder Torfboden, als Ursache der Färbung zu betrachten sei, ist fast allgemein angenommen, von Schwager [632] aber bestritten worden. — Man weiss, dass beim Zusammentritte verschiedener Wasserläufe dieselben ihren koloristischen Charakter auch im vereinigten Strome noch möglichst lange zu behaupten bestrebt sind. So kann man von Passau ab das milchweisse Innwasser und das dunkle Ilzwasser noch lange in der Donau verfolgen, und wer vom Niederwalddenkmale bei Bingen aus auf den Rheinspiegel blickt, erkennt bei entsprechender Beleuchtung auch einen Streifen Mainwasser am rechten Ufer des Hauptstromes. Auf diese Thatsache hat, wie Wisotzki meldet [633], besonders v. Wiebeking [634] aufmerksam gemacht, und schon der erste Befahrer des Amazonenstromes, Gonzalo Pizarros Sendling Orellana, wies [635] auf das gesonderte Weiterfliessen des Rio Negro in jenem Strome hin.

Die Notwendigkeit, auch die Temperatur der Flüsse aufmerksam zu untersuchen, wurde schon in der ersten Hälfte des XVIII. Jahrhunderts von Weitbrecht [636] betont, und Hertzer [637], Dove [638], Fournet [639], Rankine [640] und Ph. Keller [641] haben Materialien für diesen Zweck gesammelt. Systematisch handelte sodann A. E. Forster [642] den Gegenstand ab, der sich von den wichtigsten mitteleuropäischen Flüssen und dazu von einigen kleineren Alpengewässern — von Weichsel, Oder, Warthe, Elbe, Moldau, Saale, Weser, Rhein, Ill, Neckar, Main, Maas, Donau, Iller und Memminger Ache, Lech, Isar, Inn, Wien,

Theiss, Etsch, Tessin, Rhône, Arno, Saône, Loire, Seine, Themse, Mälaren-Abfluss und verschiedenen Karstbächen — einen reichen Vorrat zuverlässiger Daten zu verschaffen gewusst hatte [643]. Natürlich bezieht sich die Mehrzahl der Beobachtungen nur auf die oberen Schichten. Der Tages- und Jahresgang der Wassertemperatur ist begreiflicherweise kein übereinstimmender, wie denn Alpengewässer den Einfluss der Schneeschmelze deutlich verspüren lassen. Gebirgsquellflüsse und Flachlandflüsse verhalten sich gleichfalls verschieden. Massgebend ist durchgehends die von der Sonnenwärme abhängige Temperatur, während die Temperatur der Quelle nur auf ganz geringe Entfernung von jener nachwirkt [644]. Die interne Reibung ist auch ein zu beachtender Faktor; weniger anscheinend die von Rankine (s. o.) für sehr bedeutsam erachtete Reibung des Wassers an Boden und Wandung. Wasserfälle müssten, so wird man denken, nach den Gesetzen der mechanischen Wärmetheorie eine nicht unerhebliche Temperaturerhöhung bewirken, allein nach Keller (s. o.) ist der Effekt kein namhafter; wohl deshalb, weil die Verdunstungskälte die Erwärmung teilweise neutralisiert. Forsters dankenswerte Schrift schliesst mit Ratschlägen für die rationellste Ausführung solcher Messungen; träge Thermometer (S. 421) eignen sich auch hier am besten, und als Beobachtungstermin wird 11^h vormittags empfohlen, weil man dann ungefähr das Tagesmittel zu erhalten hoffen darf.

§. 10. **Quantitative hydrometrische Bestimmungen.** Die Hydrometrie oder Wassermessung hat zuerst darauf zu denken, wie sie sich in den Besitz möglichst genauer Werte für die Geschwindigkeit des fliessenden Wassers, sowohl an der Oberfläche, wie auch im Inneren der Wassermasse, setzen könne. Die Resultate sucht sie zu einem einheitlichen Bilde der Geschwindigkeitsverteilung zu verbinden. Ersteren Zweck strebt sie durch Apparate an, welche denen, durch die in der meteorologischen Praxis die Geschwindigkeit gemessen werden soll, zum Teile nachgebildet sind. Wir wollen die wichtigsten unter ihnen jetzt kennen lernen; für eine etwas ältere Epoche waren die Schriften von Engelbreit [645] und Hunaeus [646] empfehlenswert, während dem Praktiker unserer Zeit das Studium der entsprechenden Abschnitte in dem grossen Werke v. Bauernfeinds [647] anzuraten sein möchte.

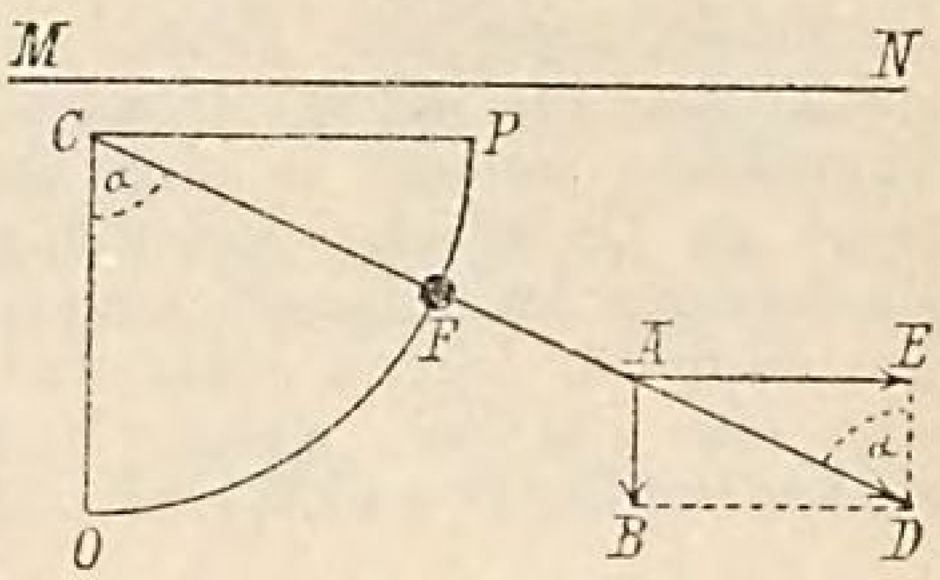
a) Die Schwimmkugel. Man lässt einen Treibkörper die Strecke a durchschwimmen und merkt die verbrauchte Zeit t an. Gleichförmige Bewegung vorausgesetzt, ist dann die Geschwindigkeit $v = a : t$. Zunächst scheint das Verfahren nur für Oberflächengeschwindigkeiten brauchbar zu sein; man kann aber auch durch Zusammensetzung des Treibkörpers aus zwei Stücken, deren eines aus spezifisch schwererer, deren zweites aus spezifisch leichterer Materie besteht, ersteren so gestalten, dass er im Wasser schwebt, d. h. an jedem Orte verbleibt, an welchen man ihn gebracht hat. Aehnlich sind v. Wiebeking und Cabeo bei der Geschwindigkeitsmessung zu Werke gegangen [648], indem sie nur mit der Schwimmkugel einen aus dem Wasser hervorragenden, deren augenblicklichen Ort anzeigenden Stab verbanden.

b) Die Pitotsche Röhre. Dieselbe darf zu Bouguers Anemometer (S. 73) in Parallele gestellt werden. Pitot brachte [649] eine rechtwinklig umgebogene Glasröhre so in den Weg des Wassers, dass es in den horizontal gehaltenen, kürzeren Schenkel eindrang. Je rascher das Wasser sich bewegt, desto tiefer wird es in die Röhre eindringen.

c) Der Stromquadrant, ein Analogon der Windstärketafel (S. 73). Das Instrument ist wesentlich durch die Arbeiten der sich fast ausschliesslich desselben bedienenden italienischen Hydrotechniker, eines Guglielmini [650], Zendrini [651], Manfredi [652], Michelotti [653], Lecchi [654] u. a. sehr in Aufnahme gekommen und besitzt auch den grossen Vorzug der Handlichkeit. MN (Fig. 169) sei die Oberfläche, C irgend ein Punkt im Flusse, dessen Umgebung auf ihren Geschwindigkeitszustand untersucht werden soll. Man bringt nun den Quadranten so ins Wasser, dass Radius CO vertikal, Radius CP horizontal zu liegen kommt, und

misst, wenn das Bleilot durch den Wasserstoss in die Richtung CF gebracht ist, am Limbus ∢ OCF = α. Konstruiert man das Kräfteparallelogramm AEDB (∢ ADE = α), so ist die Stosskraft des Wassers s durch AE = p tang α gegeben, wenn p (= AB) das Gewicht der Bleikugel vorstellt. Zugleich ist aber, für c als empirische Konstante, nach den Grundlehren der Hydrodynamik, wenn noch v die obige Bedeutung beibehält, $s = cv^2$. Eliminiert man die Grösse s, so bleibt $v = \sqrt{p \tan \alpha : c}$. Um c zu erhalten [655], operiert man zuerst mit einer Stelle von bekannter Geschwindigkeit v_1, welcher der Elevationswinkel α_1 zugeordnet ist; es wird dann kürzer $v = v_1 \sqrt{\tan \alpha \cot \alpha_1}$. — Das Hydrotachometer von Raucourt [656], die Wasserfahne von Ximenez [657] und das Tachometer (τάχος, Geschwindigkeit) von Brünning [658] sind mehr oder minder gelungene Abänderungen des Stromquadranten.

Fig. 169.



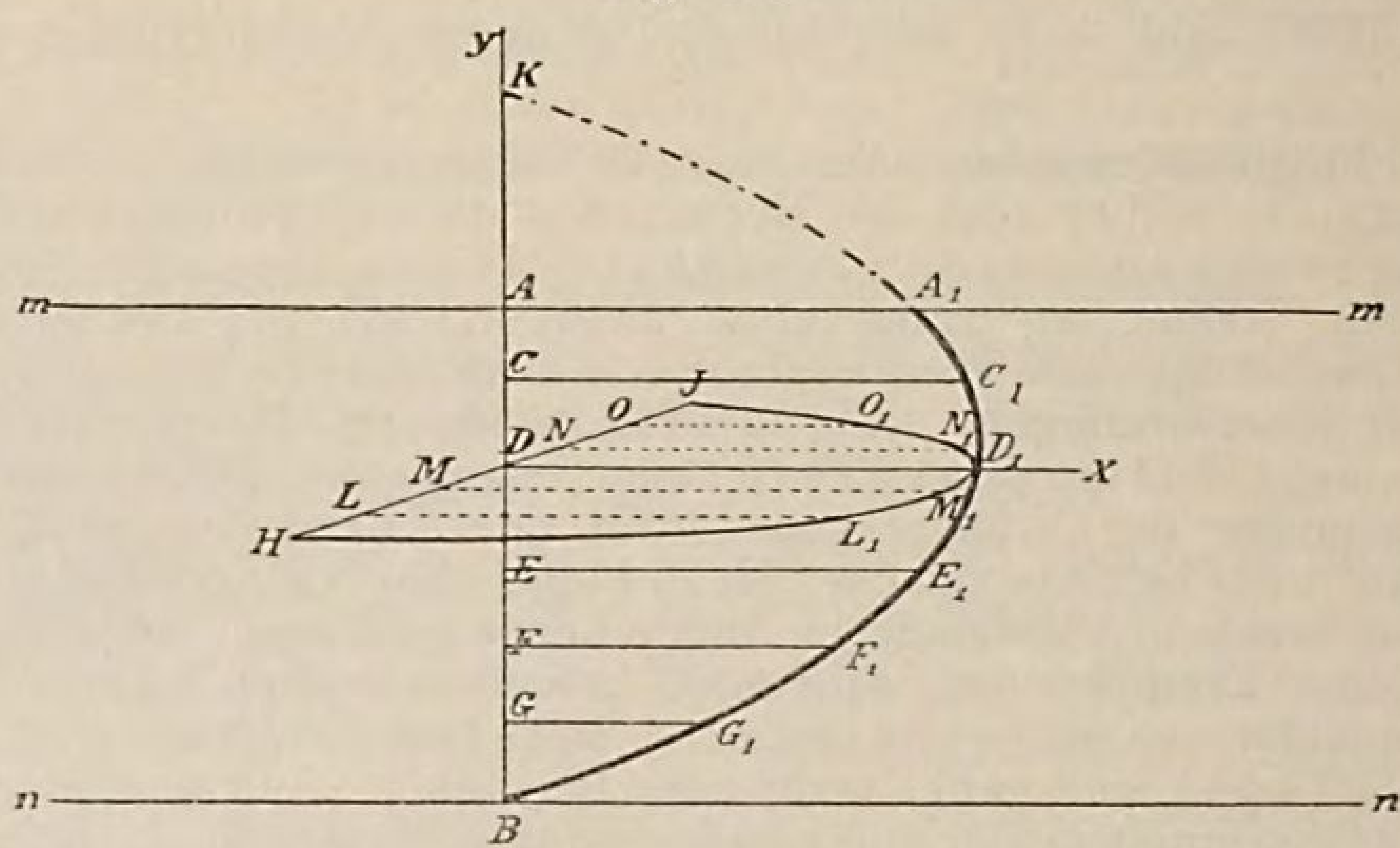
d) Die Flügelinstrumente. Wie sich die Witterungskunde des Schalenanemometers bedient, so suchte auch die Hydrometrie die Geschwindigkeit des Wassers auf die Umdrehungsgeschwindigkeit eines Doppelflügelpaares zurückzuführen. Wenn der Strom unter einem Winkel von 45° auf die Flügelebenen wirkt, so erfolgt der Theorie zufolge die rotatorische Bewegung der Flügel mit eben der Geschwindigkeit, wie sie dem fliessenden Wasser eignet. Diesem Prinzipe ist der Woltmannsche Flügel angepasst, dessen mathematische Existenzbedingungen der Erfinder selbst [659] und Eytelwein [660] festgestellt haben. Wenn r die Entfernung eines jeden Flügels von der (vertikal zu haltenden) Achse ist, und wenn in t Sekunden n Umdrehungen erfolgen, während c eine gewisse, für jedes Exemplar des Apparates besonders auszumittelnde Erfahrungskonstante bedeutet, so ist $v = 2crn\pi : t$. Noch heute erfreut sich der Woltmannsche Flügel einer wohl verdienten Beliebtheit, und es sind mehrere Anweisungen zur Bestimmung der Individualkonstante c vorhanden, unter denen wir nur diejenige von M. Schmidt [661] hervorheben wollen. — Seit 1873 steht neben dem vorerwähnten Instrumente auch der Amsler-Laffonsche Flügel im Gebrauche [662], durch den nicht sowohl die Zahl der Umdrehungen in bestimmter Zeit, sondern die zu etwa 100 Umdrehungen — die Zahl ist an sich willkürlich — erforderte Zeit direkt erhalten wird. Ein elektromagnetisches Glockenwerk steht mit einem durch die Flügelachse bewegten Zahnrade in Verbindung und läutet, wenn jeweils 100 Rotationen gemacht sind. Auch sind die Flügel nicht eben, sondern nach einem solchen Gesetze gekrümmt, dass der Wasserstoss seine volle Kraft zu entfalten vermag. Wieder in anderer Art hat Harlacher [663], dessen Apparate die bekannte Werkstätte von A. Ott in Kempten herstellt, die elektrische Uebertragung bethätigt. — An manchen Orten, vorab an der Münchener technischen Hochschule, befinden sich hydrometrische Prüfungsanstalten, durch deren Hilfe jeder Interessent gegen eine mässige Gebühr sich die Konstante seines Instrumentes bestimmen lassen kann.

e) Instrumente zur Bestimmung der mittleren Geschwindigkeit. Bislang handelte es sich ausschliesslich um isolierte örtliche Geschwindigkeiten, und nur approximativ war auch ein Wert für die Mittelgeschwindigkeit zu erlangen. Poncelet hatte angeregt [664], eine unten beschwerte Schnur sich unter dem Einflusse des Wasserstosses in die Ruhelage einstellen zu lassen, die so entstehende Kurve zu fixieren und aus ihrer Gestalt sowohl auf die oberflächliche, wie auch auf die mittlere Geschwindigkeit zu schliessen. Weit besser als dieser wohl kaum je verwirklichte Vorschlag führt derjenige A. Franks [665] zum Ziele. Eine vertikal gehaltene Metallröhre, die längs einer Seitenlinie aufgeschlitzt ist, wird in den Fluss gebracht, fest an den Grund angedrückt und hierauf so gedreht, dass die volle Stosskraft des Wasses den — einstweilen noch verschlossen gehaltenen — Schlitz trifft. Sowie dies erreicht ist, wird letzterer geöffnet, das Wasser strömt ein und komprimiert die in der Röhre enthaltene Luft. Ein Manometer gestattet die Ablesung dieses Druckes, und aus ihm lässt sich sofort die Mittelgeschwindigkeit des Wassers berechnen. —

Die ältere Theorie, welche insbesondere von den Italienern (s. o.) entwickelt und von Hennert [666] systematisch dargestellt wurde, führt den Namen para-

bolische Theorie; sie kann auch gegenwärtig noch keineswegs als völlig wertlos bezeichnet werden. Wir erblicken in mmnn (Fig. 170) einen zu den parallel gedachten Ufern parallel gelegten Vertikalschnitt, der zugleich den Stromstrich, die durch den Thalweg (S. 708) bestimmte Linie grösster Oberflächengeschwindigkeit enthalten soll. Unter der obigen vereinfachenden Bedingung würde mithin die Zeichnungsebene gleichweit von beiden Ufern entfernt sein. Die Erfahrung lehrt, dass die grösste Geschwindigkeit innerhalb der Vertikalebene nicht an der Oberfläche, sondern in einer gewissen Tiefe gefunden wird. Zieht man AB senkrecht zu Oberfläche und Boden, so soll auf dieser Geraden der Punkt D der Maximalgeschwindigkeit entsprechen, und die Strecke DD_1 sei das Mass derselben. Um dann für irgend einen anderen Punkt das analoge Mass zu finden, konstruiert man eine Parabel, welche D_1 zum Scheitel, DD_1 zur Achse hat und durch die beiden Punkte B und K (DK = DB) hindurchgeht. Wählt man die X- und Y-Achse

Fig. 170.



so, dass dieselben resp. in die Richtungen von DD_1 und DA fallen, so ist die Gleichung der Kurve diese: $y^2 = \frac{\alpha^2}{d}(d - x)$, wenn noch $DD_1 = d$, $BK = 2a$ gesetzt ist. Jedes x ist dann sofort der einem bestimmten y zugehörigen Geschwindigkeit gleich; für $y = \pm a$ wird $x = 0$, d. h. am Boden ist die Geschwindigkeit annulliert, und der in die freie Luft entfallende Teil A_1K der Parabel kommt ohnehin hydrometrisch nicht in Betracht. Den Punkten A, C, D, E, F, G kommen also bezüglich die Geschwindigkeiten AA_1, CC_1, DD_1, EE_1, FF_1, GG_1 zu. Doch ist damit die Bedeutung der parabolischen Theorie noch nicht erschöpft. Legt man nämlich durch DD_1 eine Ebene senkrecht zu derjenigen des Papiers, zieht in ihr HJ so, dass H und J in die Uferwände zu liegen kommen, so dass mithin HD = DJ wird, und verzeichnet jetzt eine zweite Parabel so, dass sie ebenfalls D_1 zum Scheitel und DD_1 zur Achse hat, zugleich aber auch durch H und J geht, so sind die Geschwindigkeiten für die auf HJ gelegenen Punkte L, M, D, N, O wiederum gleich den Masszahlen der Parabelabszissen LL_1, MM_1, DD_1, NN_1, OO_1. An den Uferwänden ist abermals die Geschwindigkeit gleich Null.

Dass diese ganze Auffassung, trefflich geeignet zu einer allgemeinen Orientierung über die Sache, doch viel zu schematisch sei und dem verwickelten Spiele der Natur nicht voll entspreche, musste um so mehr erkannt werden, eine je höhere Ausbildung die auf die Hydrometrie in allererster Linie angewiesene Wasserbaukunst durch v. Wiebeking [667], Eytelwein [668], Prony [669] und vor allem durch G. H. L. Hagen [670] erreichte; auch die Verdienste des Holländers Delprat sind nicht gering zu veranschlagen [671]. Der modernen Meister des Faches (S. 812) ist bereits Erwähnung geschehen. Neben den experimentellen Arbeiten von Weisbach [672], deren Anwendbarkeit auf die Wasserbewegung im freien Flussgerinnne allerdings nur eine bedingte sein konnte, führten die rasch berühmt gewordenen Mississippi-Studien [673] von Abbot und Humphreys der Lehre von der Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Flusswassers neue und wertvolle Gesichtspunkte zu. Seitdem sind solche Individualuntersuchungen an bestimmten Strömen wiederholt angestellt worden. Dahin gehören Belgrands

grosses Werk [674] über die Seine, Gordons [675] und Cunninghams [676] Untersuchungen über Irawadi und Ganges und, als für Deutschland besonders wichtig, Honsells Bearbeitung der Hydrographie des Rheins [677], von welcher Treutlein [678] einen mustergültig populären Auszug veröffentlicht hat. Was er für den Rhein that, das ist bezüglich des Oderwerkes [679], welches die preussische Ueberschwemmungskommission publizieren liess, durch Penck [680] geleistet worden.

Wir stellen im folgenden einige für die Geschwindigkeit des strömenden Wassers abgeleitete Formeln verschiedener Autoren zusammen. Bei Abbot-Humphreys (s. o.) sieht, wenn d die Flusstiefe, u das arithmetische Mittel aus einer möglichst grossen Zahl von Einzelgeschwindigkeiten, v wiederum die mittlere Geschwindigkeit vorstellt, die Schlussformel so aus:

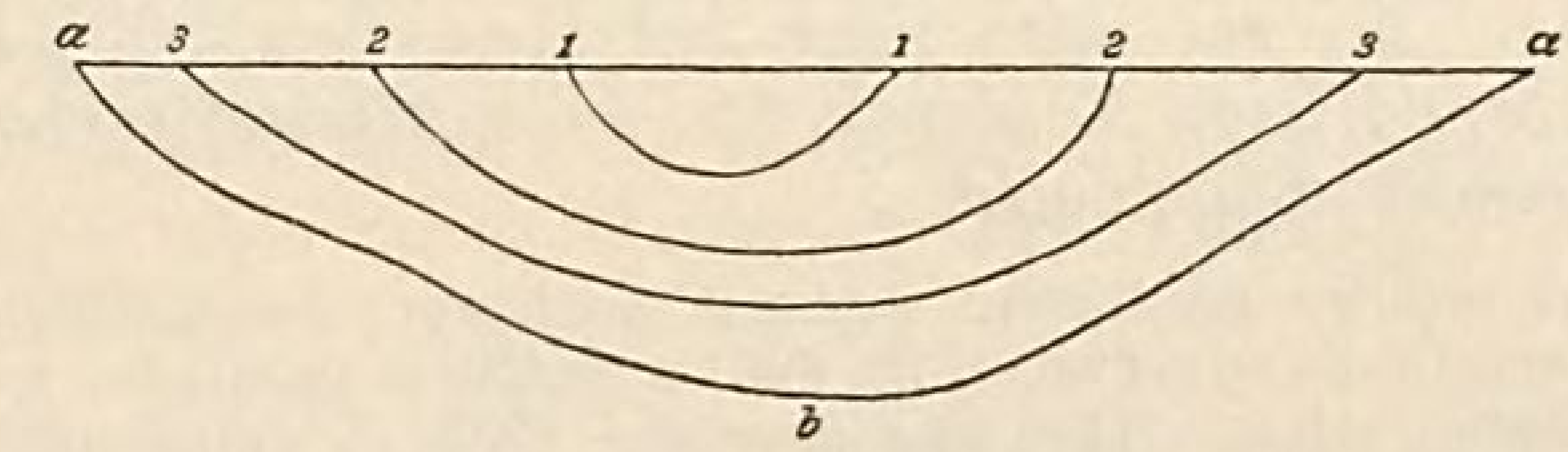
$$b\ (\text{Hilfsgrösse}) = 1{,}96\sqrt{d + 1{,}05};\quad v^2 = \sqrt{1{,}08\,u + 0{,}02\,b} - 0{,}045\sqrt{b}.$$

Hagen führt [681], wie schon Eytelwein, das Gefälle α, den vertikalen Flussquerschnitt f und den benetzten Teil p des Umfanges der letzteren ein und findet so (in m):

$$v = 2{,}425\sqrt[6]{\alpha\,.\,(f:p)^3}.$$

Von den Versuchen, die Brahmt und De Chézy angestellt haben, erhalten wir einen Bericht bei Penck [682]. Bei ihnen spielt nicht minder das Stück p, welches

Fig. 171.



von der Umfangslinie des Querprofiles benetzt ist, eine Rolle; wenn ausserdem g die Schwerebeschleunigung, c eine Erfahrungszahl ist, so hat man, die sonstige Bezeichnung beibehaltend,

$$v = \sqrt{c\,g\,\alpha\,.\,(f:p)}.$$

Die Formel kann schon deshalb keine allgemein richtige sein, weil über die Natur der Reibung an den Uferwänden nur eine sehr obenhin zutreffende Voraussetzung gemacht war, während nach Bazin-Darcy [683] der Reibungskoeffizient von der Beschaffenheit der Wandung abhängt und auch mit der Temperatur sich ändert. Reynolds [684] führt deshalb ausser den allgemeinen Konstanten c_1 und c_2 noch die ausschliesslich durch die Natur der Wände bestimmte Grösse c_3 ein, und wenn dann t die Temperatur zur Zeit der Beobachtung ist, setzt er

$$v = c_1\,.\,(c_2\,\alpha)^{c_3}\,.\,(f:p)^{3c_3-1}\,.\,(1 + 0{,}0336793\,t + 0{,}000220902\,t^2)^{2c_3-1}.$$

Dieselbe ist als eine weitere Ausgestaltung von Harlachers [685] Relation:

$$v = c_1\,.\,\alpha^{c_2}\,.\,(f:p)^{c_3}$$

anzusehen, in welcher die Konstanten dem numerischen Werte nach allerdings nicht mit den von Reynolds eingeführten identisch sind. — Harlacher war es auch, der mit Erfolg den Gedanken realisierte, sämtliche Punkte eines Vertikalprofiles, denen die gleiche Geschwindigkeit zukommt, durch einen Kurvenzug in Verbindung zu setzen, so wie dies Fig. 171 zur Anschauung bringt. In das Profil abc sind die Isotachen (vgl. S. 820) 11, 22 und 33 eingezeichnet.

Aus den Geschwindigkeiten lässt sich die Wasserführung [686], d. h. die in der Zeiteinheit durch das Querprofil hindurchgehende Wassermenge, rechnerisch herleiten. Nach Eytelwein [687] ist die Sekundenmenge gegeben durch den Ausdruck

$$m = c\,f\sqrt{f\alpha : p}.$$

Wenn allgemein v die mittlere Geschwindigkeit bedeutet, so wird das Prisma fv die Sekundenmenge in sich aufnehmen. Gesetzt, man habe auf die Berechnung von v aus den obigen Formeln wegen ihrer unzureichenden Verlässigkeit verzichtet und mit einem der uns von vorhin bekannten Instrumente zahlreiche Detailmessungen vorgenommen, so dass $v_1, v_2 \dots v_n$ je auf eines der Teiltrapeze $f_1, f_2 \dots f_n$ entfällt, in welche der Querschnitt durch lotrechte Linien zerlegt wurde, so kann

$$m = f_1 v_1 + f_2 v_2 + \dots + f_n v_n, \quad v = m : f$$

gesetzt werden. Die Hydrotechnik belehrt über die Art und Weise, wie die Querprofile zu legen sind, worüber insbesondere eine Studie von Grebenau [688] zu Rate zu ziehen wäre. — Man kann annäherungsweise auch, nach Harlacher und Richter [689] aus dem Pegelstande (h) auf die Wassermenge schliessen. So hat Ruvarac [690] die Formel $m = 101{,}17\,(h + 0{,}70)^2$, wenn $h > 2{,}50$ m war, recht brauchbar gefunden. Endlich ist auch noch einer sehr viel gebrauchten Formel [691] von Kutter-Gangouillet Erwähnung zu thun, welche jedoch auf die scharfe, von Gravelius [692] an ihr geübte Kritik hin kaum mehr des bisherigen Beifalles in hydrotechnischen Kreisen sich erfreuen dürfte. Es sei auch noch auf Hessles [693] Bemühungen, einen ganz einwandfreien Ausdruck für die mittlere Geschwindigkeit zu gewinnen, aufmerksam gemacht.

Mehr oder minder geht man zumeist noch von der natürlich scheinenden Annahme aus, dass die Stromfäden (S. 490) wesentlich parallele, wenn auch nicht immer gerade Linien seien. Wäre das aber der Fall, so liesse sich nicht absehen, warum nicht an der Oberfläche die grösste Geschwindigkeit angetroffen werden sollte, während es sich doch (S. 819) in Wirklichkeit anders verhält. J. Thomson hat gezeigt [694], dass nicht nur, was schon früher vermutet war, die Stromfäden selbst eine spiralige Drehung erfahren, sondern dass auch im Inneren der strömenden Masse unausgesetzt vertikale Wirbelbewegungen statthaben, durch welche ein Ausgleich zwischen den Geschwindigkeiten der oberen und der tieferen Schichten herbeigeführt wird. Reynolds [695] trennt deshalb stetige und sinusoidale Bewegung; je rascher der Fluss strömt, je mehr die Bewegungshindernisse sich häufen, um so mehr tritt letztere Bewegungsform in ihr Recht. Die spiralige Wasserbewegung studierte Möller [696] durch Kalkul und Beobachtung; ihm dankt man die Erkenntnis, dass zwei vom Stromstriche (S. 820) beiderseits gleichweit abstehende Wasserteilchen Spiralkurven symmetrischer Form, aber entgegengesetzten Drehsinnes beschreiben. Ganz besonders tief dringen auch die bereits (S. 708) citierten Untersuchungen von Boussinesq in diese Probleme ein. Seine Einteilung [697] in „rivières“ und „torrents“ hat Penck [698] der Geographie mundgerecht gemacht, indem er auf die so häufig zu erkennenden Widerströme hinweist, die recht oft zur Bildung eigentlicher Wirbel Veranlassung geben. „Hindernisse, welche mitten aus dem Flussbette aufsteigen, geben zur Entstehung entsprechender Erscheinungen Veranlassung; erstere werden entweder einfach umflossen oder, falls sie sich nur ein wenig hoch über den Flussspiegel erheben, vom Wasser überwaschen, welches dann in Form einer Welle aus seinem Spiegel aufschiesst. In ersterem Falle hat man es mit Stillwässern, im letzteren mit Wildwässern zu thun.“ Wir erinnern beispielsweise an die berüchtigte Stelle der Donau bei Grein, Strudel und Wirbel; durch beide Hemmnisse war die Schiffahrt auf dem Flusse arg gefährdet, und alle Verbesserungsarbeiten wollten lange nicht fruchten, bis endich ein Kanal von 80 m Breite und 3 m Tiefe unter Niedrigwasser mit dem Kostenaufwande von 400000 Gulden gesprengt worden war [699]. Hier war die Donau ein Stillwasser geworden, nachdem sie zuvor ein Wildwasser gewesen. Zumal der in letzterem Falle nie ausbleibende Rückstau, der aber auch bei Verengerungen des Bettes nicht ausbleiben kann, gibt zu gefährlichen Drehungsbewegungen im Strome Veranlassung; für die Profilkurve des aufgestauten Wassers eine Gleichung aufzustellen, hat Heinemann [700] versucht. Boussinesq unterscheidet [701] übrigens unter den Wildwassern wieder-

um zwei Kategorien („torrents de pente modérée“ und „torrents rapides“). Speziell die Lehre von der Flüssigkeitsreibung hat der französische Analytiker erheblich gefördert [702], so dass er mehrere der von Bazin-Darcy (s. o.) gefundenen Versuchsresultate theoretisch zu erhärten in der Lage war.

Gegen Peschels Behauptung [703], dass Riccioli zuerst die Berechnung von Wassermengen eines Flusses durchgeführt habe, wird von Wisotzki [704] Einsprache eingelegt. Ihm zufolge verdient an erster Stelle Galileis Freund Castelli genannt zu werden, in dessen auch sonst bedeutender Schrift [705] Breite, Tiefe und Geschwindigkeit als die drei die Wasserführung regulierenden Faktoren aufgeführt werden. Aber schon Lionardo da Vinci scheine eine Ahnung vom wahren Sachverhalte gehabt zu haben [706]. Auch Chiaramonti [707] sei der Frage, „quo abeat tanta aqua, quae in mare excurrit, et tam cito,“ rechnerisch näher getreten.

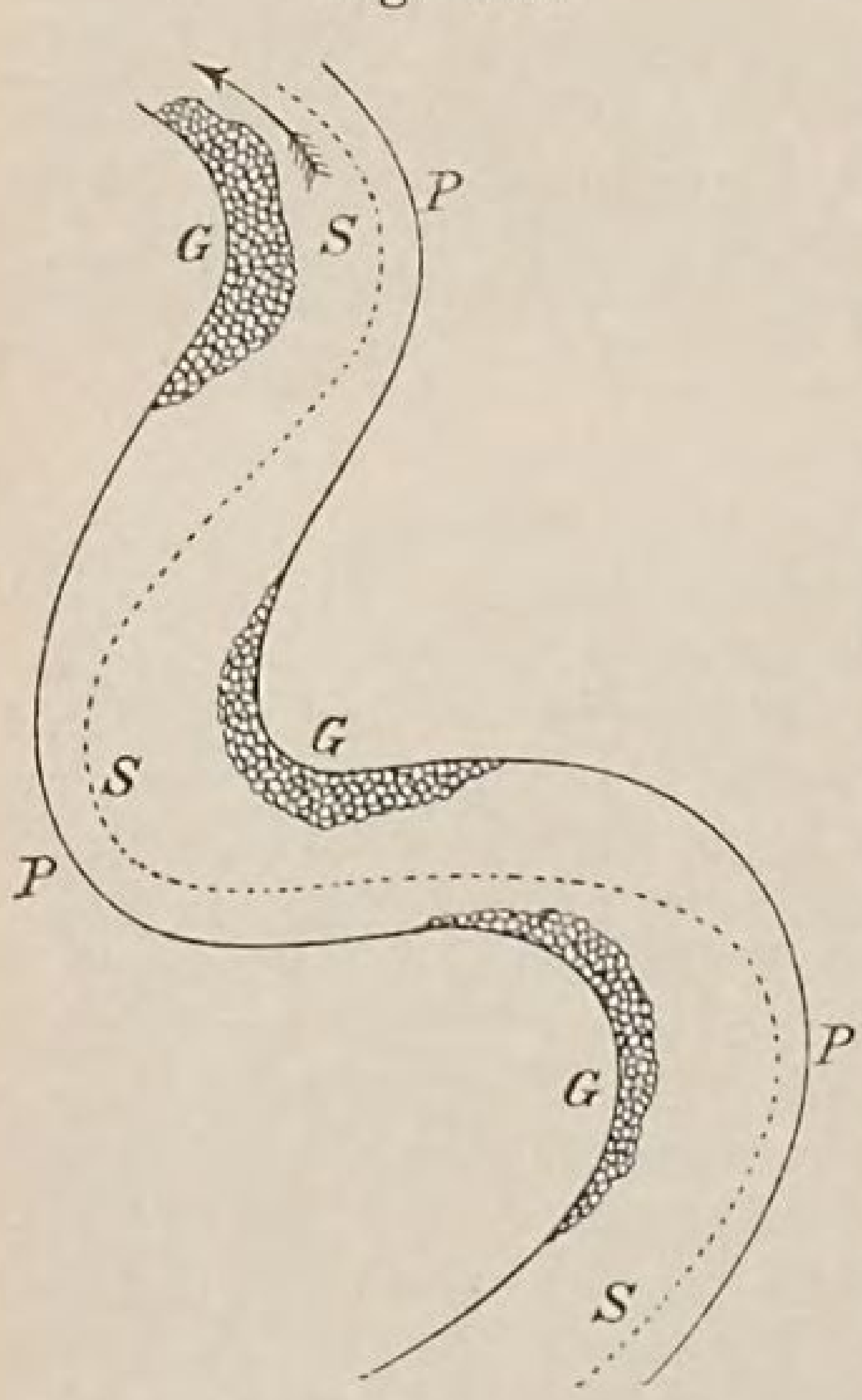
Alle Wasserläufe entstammen den Quellen; jede Quelle aber ist eine Austrittsöffnung des in die oberen Erdschichten eingedrungenen meteorischen Wassers. Wenn dem so ist, so muss auch der Schluss gestattet sein, dass die im Einzugsgebiete [708] eines Flusses gefallenen Niederschläge die Wasserhaltung dieses Flusses entscheidend bestimmen müssen, und dass, da auch die Verdunstung eine einflussreiche Rolle zu spielen berufen ist, die Ermittelung der von einem Strome in gegebener Zeit fortgeführten Wassermengen auch den Charakter eines meteorologischen Problemes annehmen kann. Eben von diesem Standpunkte aus die Vorgänge überschauend, durfte Woeikow mit Recht (vgl. S. 768) Landseen und Flüsse als Produkte des Klimas bezeichnen.

Eine erste dahin zielende Untersuchung war von Ule [709] mit Beziehung auf die Saale angestellt worden; es wurde, mit Rücksicht auf Hagens [710] wichtige Aufschlüsse, der Grundgedanke festgehalten, dass mit einem Ansteigen der Niederschlagskurve keineswegs regelmässig eine Zunahme der Wassermenge Hand in Hand zu gehen brauche. Da ferner die Elbe, die das weitaus grösste Kontingent zu der Entwässerung des böhmischen Kessels stellt, für die in Rede stehende Aufgabe ein besonders gutes Substrat abzugeben schien, so konnte es nicht fehlen, dass die Wasserabfuhr gerade dieses Flusses von verschiedenen Gelehrten klimatologisch geprüft wurde, nämlich von Frejlach [711], P. Schreiber [712], Ruvarac (s. o.) und endlich von Penck [713], in einer der Arbeit des Vorgenannten angehängten Zusatzabhandlung. Während Schreiber zu dem Schlusse kam [714], die Verdunstung des Wassers über dem Festlande sei unerheblich, und es müsse also der grösste Teil des nicht oberflächlich abfliessenden oder chemisch gebundenen Wassers als in die Erde eindringend angenommen werden, geht aus Pencks Darlegungen hervor, dass die landläufige Meinung, derzufolge (vgl. S. 769) ein erstes Drittel der Niederschlagsmenge sofort in die Gerinne aufgenommen, ein zweites Drittel zur Quellenspeisung verbraucht und ein drittes durch Evaporation der Atmosphäre zurückgegeben wird, nicht absolut falsch ist, sondern der Wirklichkeit mitunter nahe kommen kann. Der Gegensatz zwischen Penck und Schreiber klingt selbstredend auch in dem Meinungsaustausche [715] zwischen beiden Gelehrten nach, und der zweitgenannte hat seitdem nochmals das Wort ergriffen [716], um die Formeln zu rechtfertigen, welche aus Dimensionen, Gefälle und Erfahrungskoëffizienten den Wasserabfluss aus einem gegebenen Querschnitte zu berechnen gestatten. Andererseits muss aus der neuen Monographie der Saale von Ule [717] geschlossen werden, dass im Gebiete dieses Flusses der Verdunstungsbetrag die Stromabfuhr beträchtlich hinter sich lässt. Vielleicht dürfen wir auch für diesen Komplex von Fragen noch mehr Licht zu erhalten hoffen, wenn uns erst noch tiefere Einsicht in den Prozess des Fliessens selbst ermöglicht ist, so wie dies durch eine neue Schrift von Boussinesq [718] geleistet zu werden scheint, deren Ausnützung für die Zwecke der physikalischen Geographie wohl für die nächste Zukunft erhofft werden zu können scheint. Die Frage ist, wie man sieht, noch in vollem Flusse, und wir müssen uns deshalb an diesem Orte damit begnügen, ihre hohe Bedeutung, gleichzeitig für Hydro- und Klimatologie, hervorgehoben zu haben.

§. 11. **Gerölle- und Schlammtransport; Grasbarren.** Jeder Fluss führt Festkörper in minder oder mehr fein verteiltem Zustande mit sich fort; die Bezeichnungen Gerölle und Geschiebe auf der einen, Sand und Schlamm auf der anderen Seite charakterisieren die fortgeschleppten Massen. Unausgesetzt wird ein Teil derselben an den Rändern und auf dem Grunde deponiert, ohne jedoch irgendwo eine bleibende Stätte zu finden. Das Studium der diesen Transport regelnden Gesetze und die Angabe von Mitteln zur Bestimmung der — der Wasserführung (S. 821) begrifflich nachgebildeten — Gerölle- und Schlammführung gehören zu den Pflichten unseres Wissenszweiges.

Die Beschäftigung mit dieser Seite der Potamologie (S. 821) war bis vor kurzem wesentlich den Technikern überlassen geblieben; neuerdings hat Pencks Werk [719) auch hier Wandel geschafft und die Bedeutung der einschlägigen Probleme für die tellurische Physik den Fachkreisen einleuchtend gemacht. Nebstdem sind besonders die Arbeiten von Kreuter [720] hier namhaft zu machen, welche an die Rhône-Untersuchungen von Du Boys [721] anknüpfen. Die Bewegung des Geschiebes ist ersichtlich durch zwei unabhängige Faktoren bedingt, nämlich durch die Stosskraft des Wassers und durch die Grösse der das Geschiebe bildenden Körper. Hier gilt der durch die Versuche von Umpfenbach [722] und Suchier [723] in der Hauptsache bestätigte Lehrsatz: Das Gewicht gleichgearteter Geschiebe ist der sechsten Potenz der Geschwindigkeit des strömenden Wassers proportional. Von Du Boys wurde der Begriff der Schleppkraft (so verdeutscht Kreuter „force d'entraînement") eingeführt; dieselbe ist für fliessendes Wasser schlechtweg S = 1000 α.t, wo α das Gefälle (s. o.), t die örtliche Wassertiefe (in Metern) und S eine gewisse Anzahl von Kilogramm für 1 qm ausdrückt, während die Zahl 1000 das Gewicht von 1 cbm Wasser in Kilogramm angibt. Für jede Geschiebegattung gibt es nach Kreuter [724] nun einen besonderen Grenzwert $S_0 = 1000\,\alpha_0\,t_0$ der Schleppkraft, welcher überwunden sein muss, damit das Geschiebe ins Wandern kommt; α_0 und t_0 sind zwar an und für sich veränderlich, aber ihr Produkt kann als konstant angenommen werden, so lange der Grund des Flusses seine Beschaffenheit beibehält. Diese Grössen α_0 und t_0 im konkreten Falle zu ermitteln, gibt Kreuter ein Verfahren an; für mehrere tirolische Flüsse fand er [725] $S_0 = 8$; für den Inn unterhalb Kufsteins $S_0 = 1{,}4$, was mit Dubuats Experimenten [726] für nussgrossen Kies in Einklang steht; im Hochrhein schwankte S_0 zwischen Rüti und der Bodenseemündung zwischen 4,4 und 2,9, wobei die einfliessende Ill ihre Wirkung äusserte.

Fig. 172.



Die Geröllablagerung vollzieht sich, wenn der Fluss — wie im Naturzustande immer — in Windungen dahinströmt, auf der gegen das Wasser konvex gekrümmten Seite jeder Windung; dies hängt damit zusammen, dass der Stromstrich (S. 820) nicht mit der geometrischen Achse des Flussbettes zusammenfällt, sondern sich jeweils immer den konkaven Stellen mehr als den konvexen — d. h. eben den sogenannten Prallstellen — nähert. In Fig. 172 sehen wir die gebogene Gestalt des Stromstriches S S und den Wechsel zwischen Prallstellen P und Ablagerungsplätzen G des Gerölles entsprechend dargestellt. Ueber die Lage des Stromstriches hat Rein [727] Betrachtungen angestellt, aus denen hervorgeht, dass sie wesentlich von der Krümmung der Oberfläche abhängt, welche wir als Wasserspiegel bezeichnen, und die man nur irrtümlich mit einer Ebene identifiziert; der höchste Punkt liegt stets auf der genannten Kurve, deren mäandrische Biegung die Geschiebeverteilung regelt. In ihrem Verhalten zur Stromachse offenbart sich genau dasselbe Verhalten, welches wir seiner Zeit bei den Gletschern (S. 711) wahrnahmen.

Die Bewegung der Gesteine im Wasser ist mehr ein Fortrollen, als ein Fortgeschobenwerden [728], und Pestalozzi konnte [729] feststellen, dass sich im Wasser ein selbständiger Geröllestrom von 3 m vertikaler Mächtigkeit fortbewegte. Aber nicht bloss das einzelne Teilchen ist in Fortbewegung begriffen, vielmehr wandern auch die Sand- und Kiesbänke als solche stromabwärts; oft mit namhafter Geschwindigkeit, welche Partiot [730] für den Loiret im Mittel zu 11 m pro Tag bestimmte. Steine, die man mit Merkmalen versehen hat, kann man in ihrem Zuge thalabwärts kontrollieren, so lange sie nicht etwa dieser Kennzeichen durch Abnützung verlustig gehen. Denn ganz von selbst versteht sich, dass die Gesteinstrümmer, indem sie sich aneinander, am Grunde und an den Wandungen reiben, immer kleiner und kleiner werden müssen. Hierüber liegen aus neuerer Zeit die numerischen Angaben v. Hochenburgers [731], aus älterer diejenigen Daubrées [732] vor, der bei seinen Studien [733] über Alluvionenbildung am Rhein mittelst eines Fernrohres die selbstzerstörende Aktion der Geschiebemassen direkt beobachtete und so den Fortschritt der Zerkleinerung sinnenfällig konstatierte. Zuletzt bleibt nur feiner Schlamm übrig, wie ihn jeder Fluss in seinem Unterlaufe massenhaft mitzuführen pflegt. Man wird von der Notwendigkeit eines starken Reibungseffektes um so mehr überzeugt, wenn man sich gegenwärtig hält, dass nach Daubrée bei Strassburg i. E. Rollsteine in der Grösse von Strausseneiern, bei Germersheim aber nur noch in der Grösse von Hühnereiern vorkommen. Auszüglich verbreitet sich über die wichtigen Resultate des französischen Forschers v. Jolly [734]. — Eine sehr dankenswerte Geschiebestatistik haben Fugger und Kastner für die Salzach zu stande gebracht [735]. Die Zahl der ganz gerundeten Stücke wuchs mit der Länge des zurückgelegten Weges und der Abnahme der Strömungsgeschwindigkeit. Als Abreibungskoëffizienten, welche das Verhältnis des Substanzverlustes der einzelnen Gesteinsgruppen auf ihrem Wasserwege markieren, fand man nachstehende Werte: Krystallinisch-körniges Gestein 0,4; krystallinisch-schieferiges Gestein 0,5; paläo- und mesozoische Schiefer 1,1; Quarzit 0,7; Kalk 1,0; Triasdolomit 2,5; Flysch 0,8. Abreibungskoëffizient und Schotterfestigkeit [736] wurden als umgekehrt proportionale Grössen erkannt.

Einige numerische Daten dürfen hier nicht fehlen. Nach Guppys und Mellard Reades Messungen [737], für welche wohl der Name Aichungen der bezeichnendste wäre, würden die drei grossen chinesischen Flüsse genug Sinkstoffe mit sich führen, um in 100000 Jahren das ganze Gelbe Meer (vgl. S. 387) auszufüllen. Die Maas führt, wie Spring fand [738], im Jahre durchschnittlich 361920003 kg Festkörper durch die Stadt Lüttich, nämlich 238191417 kg suspendierte, 101884322 kg gelöste und 21844354 kg organische Substanzen. Von der Donau weiss Penck [739] zu sagen, dass sie im Jahresmittel eine Last von 14,3 Mill. Tonnen an Fremdkörpern vor Wien vorüberführt. „Dieses Gewicht stellt das Volumen von 5,7 Mill. cbm dar. Auf das Einzugsgebiet der Donau verteilt, ergibt sich, dass von je 1 qkm des Donaugebietes oberhalb Wiens 56 cbm Gestein fortgeführt werden. . . . In 18000 Jahren wird daher durch die in der Donau schwebenden oder gelösten Bestandteile die Landoberfläche oberhalb Wiens um 1 m erniedrigt.“ Speziell über die Schlammführung, die insofern eine selbständige Abteilung der Festkörperführung überhaupt darstellt, als ja die Teilchen im schwebenden Zustande im Wasser verharren, macht Penck [740] umfassende Mitteilungen. Zu den von ihm wiedergegebenen Tabellen wollen wir nur noch eine besonders sprechende Thatsache hinzutreten lassen. Der Amazonas gehört nach Katzer [741] zu den reinsten, relativ ein Mindestmass von Sinkstoffen transportierenden Flüssen der Erde, und gleichwohl zeigt die Rechnung, dass in seinem Wasser Jahr für Jahr ungefähr 618 Mill. Tonnen fein verteilter Festkörper die Stromenge von Obidos passieren.

Durch die Besprechung der Schlammführung sind wir zu einer hygienischen Streitfrage gelangt, welche in unseren Tagen ein lebhaftes Aufeinanderplatzen der Geister ausgelöst hat und sowohl den Physiker wie auch den Chemiker angelegentlich zu beschäftigen geeignet ist. Wir meinen die Lehre von der Selbstreinigung der Flüsse, welche in einigen Publikationen [742] v. Pettenkofers der Welt vorgelegt wurde und aus naheliegenden Gründen weit über den Interessenkreis der Gelehrten hinausreicht. Ist sie richtig, so steht die

städtische Polizei vor der Möglichkeit, der Hineinleitung von Fäkalstoffen in einen die Grosstadt bespülenden Fluss keinen grundsätzlichen Widerstand entgegensetzen zu müssen.

Der Ausdruck Selbstreinigung ist, darin pflichten wir dem Bedenken Schwagers [743] unbedingt bei, zunächst etwas unbestimmt, und es kommt darauf an, ihn schärfer zu präzisieren. Immerhin ist sehr bemerkenswert, dass, worauf v. Bauernfeind hinwies [744], bereits der alte Silberschlag (I, S. 45) Wort und Sache kannte, indem er schrieb [745]: „Die Reinigung der Ströme ist eine segensvolle Wohlthat der göttlichen Vorsehung, ob es uns gleich schwer fällt, die Mittel ausfindig zu machen, durch welche die Ströme gereinigt werden." Die Vernichtungsleistungen der Fische und Krebse hat v. Bauernfeind (s. o.) wohl zu hoch taxiert, aber unzweifelhaft war er im Rechte bei dem Hinweise auf die Assimilationsthätigkeit der Algen. Wie einschneidend im Naturhaushalte die Rolle der im Wasser lebenden Kryptogamen erscheint, weil diese organische Sinkstoffe, also gerade die für die menschliche Gesundheit nachteiligen Materien, zu ihrer Ernährung beanspruchen, das haben Bokorny [746] und Schorler [747] zur Genüge dargethan. Und auch die chemisch-analytische Praxis kommt der Theorie v. Pettenkofers fördernd entgegen. Nach dieser Seite hin sind insonderheit die Behauptungen Willemers [748] wichtig, der das Isarwasser nächst der — nach allgemeiner Ansicht — durch die Abgaben der Münchener Kanäle schwer bedrohten Stadt Landshut prüfte. Der Abdampfungsrückstand liess sich durchaus nicht mit den Abfuhrwassern der Hauptstadt in Verbindung bringen; suspendierte Teilchen fanden sich sogar in der Isar spärlicher vor, als im Wasser einiger ihrer Nebenflüsse. Bakterien (S. 365) waren allerdings in ersterer zahlreicher vertreten, allein da ihre Zunahme dem Einsetzen des Hochwassers folgte, so war an keinen Zusammenhang bezeichneter Art zu denken, und pathogene Mikroben fehlten gänzlich. „Durch die Einführung der Schwemmkanalisation in München," so lautet das Schlusswort [749], „ist bis jetzt keine durch unsere chemischen oder bakteriologischen Methoden nachweisbare Verunreinigung der Isar verursacht worden." Neben den chemisch-physiologischen Agentien ist jedoch sicher auch die rapide Zerkleinerungsthätigkeit der transportierten Feststoffe als ein vorteilhaft wirkender Faktor des Selbstreinigungswerkes anzusehen.

Eine besondere Klasse schwimmender Körper darf endlich auch nicht unbeachtet bleiben, wenn unsere Darstellung der Vielseitigkeit der Natur gerecht werden soll. Dies sind die manchen tropischen Strömen, und zwar weit mehr als anderen denjenigen im tropischen Afrika, eigenen treibenden Pflanzen. Indem dieselben sich an Engstellen des Flussbettes vereinigen und durch die vereinte Kraft von Wind und Strömung zu einem fast kompakten Ganzen verfilzt werden, entstehen die berüchtigten Gras- oder Pflanzenbarren, welche die Schiffahrt auf vielen Gewässern aufs äusserste erschweren.

Mit den Bedingungen, unter welchen solche Verkehrshindernisse erwachsen, und mit den Stoffen, aus denen sie sich zusammensetzen, haben uns zwei Landeskenner bekannt gemacht, Schnitzer [750] (damals Emin Bey, später Emin Pascha) und Marno [751]. Weite Sumpfflächen auf beiden Flussufern sind üppig mit Wassergewächsen aller Art, zumeist im Sudân mit Papyrusstauden, bestanden, und diese Hochgrasvegetation gerät bei starker Wasserzunahme, wie sie die Regenzeit mit sich bringt, ins Flottieren. Das Strombett pflegt von seitlichen Maye — Altwassern, Stauwassern, lateralen und seeartigen Erweiterungen des eigentlichen Wasserlaufes — begleitet zu sein, aus denen die treibenden Grasinseln, wie schon früher (S. 684) dargelegt ward, in den Hauptlauf getrieben und dort als Barren (Grasbarrièren) verankert werden. Wisotzki erinnert [752] daran, dass diese Erscheinung nach Mauch [753] auch bei einigen Flüssen Südafrikas und nach C. Sachs [754] ebenso bei südamerikanischen Llanosflüssen wohl bekannt sei. Während der trockenen Jahreszeit verwandeln sich die Maye in halb versiegende Tümpel, und lediglich unter dem Sande, also unsichtbar, findet noch eine langsame Fortbewegung statt. Mit einer unterirdischen Wasserströmung dieser Art, die den Amazonas begleitet, hat uns Katzer [755] bekannt gemacht. — Es ist be-

kannt, dass durch solche Barrièren, welche die Dampfkraft des Expeditionsschiffes nicht zu durchschneiden vermochte, im September 1880 eine ägyptische Heeresabteilung unter Gessi die furchtbarsten Leiden und Hungerqualen zu ertragen gezwungen wurde, bis Marno den Ueberlebenden Rettung brachte. Casati hat [756] das tragische Ereignis ausführlich geschildert.

§. 12. **Die Eisverhältnisse der Flüsse.** Der Fluss war uns bis hierher bloss insoweit ein Untersuchungsobjekt, als er stets offen war, ausschliesslich flüssiges Wasser führte. Derselbe hat aber auch dann noch grosses Interesse für uns, wenn sein Wasser zum Teile in den festen Zustand übergegangen ist; wie dieses Eis entstanden, ob es von der Oberfläche oder vom Boden gekommen oder endlich durch Ablösung von den Uferwänden in den Stromlauf gelangt ist, kann hier ununtersucht bleiben, weil über das Grundeis schon früher (Abteil. VI, Kap. VI, §. 6) ausführlich gehandelt wurde. Aber zwei weitere Fragen hat die physische Geographie der Beantwortung zuzuführen: Welches sind die zeitlichen Umstände der Uebereisung eines Flusses, und wie verhält sich das Flusseis, wenn es durch Temperaturerhöhung zur Auflösung gebracht wird? Es bildet sich dann der sogenannte Eisstoss.

Die erste Frage trägt ein vorwiegend klimatologisches, die zweite ein morphologisches Gepräge, indessen hängt auch die Eisbildung vielfach von äusseren Einflüssen, von der Gestalt und Beschaffenheit des Flussbettes u. s. w. ab. Den Anteil der Klimakunde an der Kongelation der Wasserläufe waren wir schon früher (Abteil. V, Kap. VII, §. 4) zu würdigen verpflichtet. Genaue statistische Aufschlüsse über Beginn und Dauer der Eisbedeckung hat man zumeist von solchen Strömen zu erwarten, auf welche die Schiffahrt angewiesen ist, denn dann drängt sich auch der Behörde die Notwendigkeit auf, den wahrscheinlichen Eintritt und die wahrscheinliche Dauer der verkehrsfeindlichen Periode festzustellen. Zu diesen Strömen zählt die alljährlich zugefrierende Wolga, welche nach C. Hahn [757] in längerem Jahresmittel um den 8. November verschlossen und um den 10. April wieder frei wird; eine Schwankung des Termines von $\pm$ 1 Monat kann natürlich nicht befremden. Ueber den Hudson liegen Mitteilungen von Draper und Woeikow vor [758]. Bei Albany, welches mit Korsikas Mitte unter gleicher geographischer Breite gelegen ist, gefriert jener Fluss durchschnittlich länger als drei Monate, wie dies sonst nur für Flüsse extrem-kontinentalen Klimas, in Turan und in der Mandschurei, zutrifft. Auch Woeikow kann Drapers Meinung [759] (vgl. S. 323) nicht entgegentreten, die Eisverhältnisse der Flüsse im Staate New York dienten der Hypothese, dass die Winter strenger würden, zur Stütze. Für sibirische Flüsse hat v. Biberstein [760] den Zeitraum normiert, während dessen sie offen sind; danach ruht auf Ob, Selenga, Angara und Amur eine wenigstens partielle Eisdecke vom 10. Oktober bis zum 27. Mai (229 Tage), vom 10. Oktober bis zum 8. Mai (210 Tage), vom 2. Dezember bis zum 2. Mai (152 Tage) und vom 12. Oktober bis zum 12. Mai (213 Tage), während der Baikal-See vom 27. Mai bis 23. Dezember der Schiffahrt offen steht. — Von europäischen Strömen hat sich die Donau schon seit geraumer Zeit eines Eiskontrolldienstes zu erfreuen gehabt, wie die Arbeiten eines v. Haidinger [761] und C. Fritsch [762] beweisen. Gestützt auf diese Vorstudien und reiches handschriftliches Material, welches die Strombauämter Bayerns und Oesterreichs zur Verfügung zu stellen in der Lage waren, konnte Swarowsky [763] für den ganzen Donaulauf innerhalb des deutschen Sprachgebietes Zeit und Bedingungen der Eisbildung und Eisauflösung feststellen und eine gewisse Beziehung zu der von Brückner (S. 330) wahrscheinlich gemachten Periode der Klimaschwankungen eruieren [764]. Von Bedeutung war ferner der Nachweis [765] von der Einwirkung des Gefälles; langsam fliessende Flüsse gerinnen durchweg früher als schnell fliessende, und insbesondere ist die Eisbedeckung der Alpenflüsse, deren Bett rasch abfällt, eine recht unerhebliche gegenüber jener der Flachlandflüsse.

Aus seinen im Isargebiete gesammelten Erfahrungen leitet A. Geistbeck [766] die Wahrnehmung ab, dass stets das Randeis zuerst auftritt, während Grund-

und Treibeis erst bei weiterer Temperaturerniedrigung dazu kommen. Für die fliessenden Gewässer überhaupt schlägt der genannte Geograph die folgende Einteilung vor: I. Flüsse ohne Eisbildung (Moor- und Alpenbäche; für beide ist freilich der Grund des Eisfreibleibens ein sehr verschiedener); II. Flüsse mit blosser Treibeisbildung (Moosach bei München); III. Flüsse mit partieller Eisbedeckung (Isar, Rhein); Flüsse mit totaler Eisbedeckung (untere Donau im kontinentalen Klima der nördlichen Balkanhalbinsel).

Die Vorkommnisse, welche beim Losbrechen des Eises häufig statthaben und zur Bildung tumultuarisch ineinander geschobener Eisschollenfelder — nach Art der polaren Hummocks — (S. 545) führen, wurden von Fänner [767] und A. Heim [768] näher untersucht. Letzterer hat bemerkt, dass der Eisgang, wie man auch sich ausdrückt, nicht wie eine blosse Barrière, sondern „wie ein langer wogender Eisstrom“ durch das Bett der zur Limmat fliessenden Sihl herabwogte. Der vordere Teil des Eisstosses bestand aus grösseren, übereinander geschraubten Eistafeln, während weiter rückwärts diese Tafeln grösstenteils zertrümmert waren und auch von zermalmtem Eise, untermengt mit Schnee, bedeckt erschienen. Die Bewegung des Eisstromes war eine doppelte, eine fliessende und eine rutschende, indem die Randpartien durch die Reibung am Ufer aufgehalten und teilweise zum Stillstehen gebracht wurden. An Einschnürungsstellen des Flussbettes hatten sich förmliche Wellen, senkrecht zur Strömungsrichtung, gebildet — Stauwellen, wie man sie auch bei Gletschern, Lawinen und Lavaströmen wahrnimmt. Zwischen Eisgang und Muhre (s. u. in Kap. V) besteht eine ganz vollständige Analogie; nur das Transportmaterial ist ein verschiedenes.

Penck behandelt [769] das fluviatile Treibeis wesentlich unter dem Gesichtspunkte, dass es auch morphologisch wirkt, Baumstämme und Steinblöcke verfrachtet und auch den Grund, wie nicht minder die Wandungen zerstörend angreift (s. S. 595). Dabei ist jedoch nicht zu übersehen, dass Heim [770] nur unbedeutende Effekte dieser Art konstatierte, wesentlich nur „Rindenabschürfungen an Bäumen und Sträuchern der Sihlbordes“. Auch konnte diesem Beobachter zufolge von Einwirkungen des Eisganges auf die Geschiebe nicht die Rede sein.

§. 13. **Verschwinden und Wiederauffinden von Wasserläufen.** Drei Möglichkeiten sind denkbar, in deren Konsequenz ein Wasserlauf vom Angesichte der Erde verschwindet. Er kann I. durch Verdunstung zu existieren aufhören; er kann II. sich mit dem Grundwasserstrome vereinigen; und er kann III. in einem echten Stromkanale seinen Weg unterirdisch fortsetzen, um entweder gleichfalls unterirdisch ins Meer oder in einen See zu münden oder aber später wieder als Fluss hervorzutreten. Dieser letztere Fall, welcher eine Besonderheit der Karstländer darstellt, wird uns in dem dieser Oberflächenform gewidmeten Abschnitte (in Kap. V) zu beschäftigen haben.

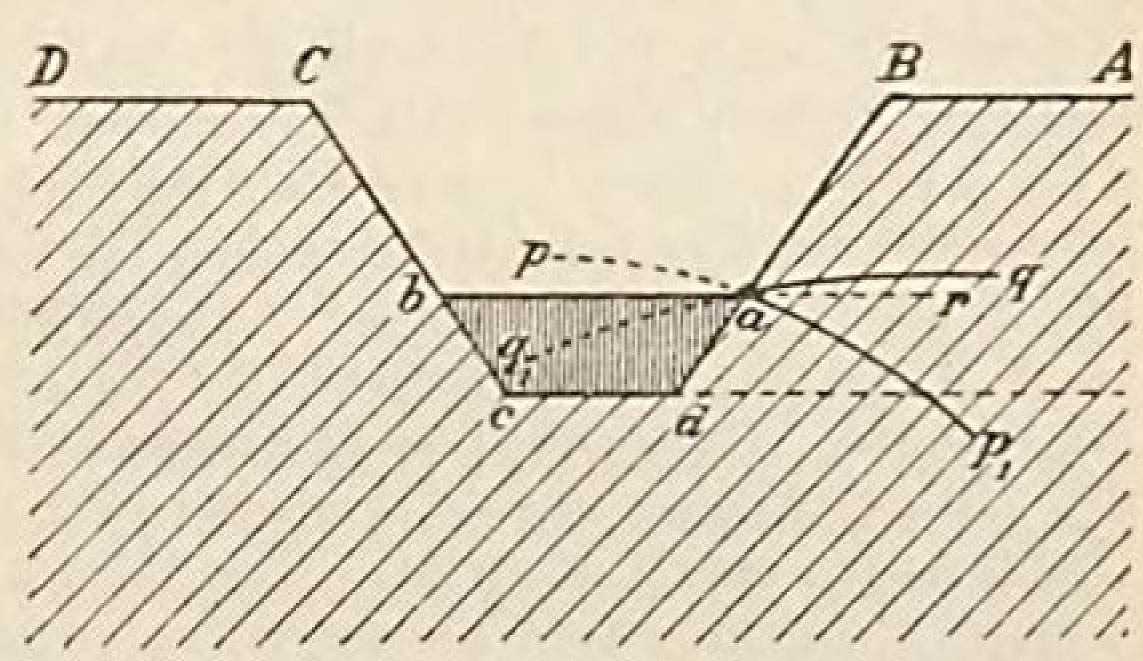
Der ersterwähnte Fall dagegen wird wohl in der Hauptsache nicht so häufig vorkommen, wie dies nach oberflächlicher Schilderung oft scheinen könnte. Das trockene Klima, welches manche Regionen Innerasiens und Südafrikas auszeichnet, kann in der That, wenn ohnedies das Land zu den zentralen, abflusslosen Gebieten (S. 701) gehört, bewirken, dass der Fluss den Rest von Wasser verliert, welchen ihm die Sitte der Eingeborenen, dessen Lauf durch Entwässerungskanäle für ihre Felder ausgiebig zu schwächen, übrig gelassen hat. Das recht eigentlich sozialistische System, in dessen Formen die Anwohner des Amu-Darja diesen Wasserentzug gekleidet haben, kennen wir durch Lochtins Skizze [771]; der Amu selbst, der allein im Chanate Chiwa 14 Kanäle zu speisen hat, ist freilich zu wasserreich, um auch durch starke Aderlässe zum Verschwinden gebracht werden zu können, allein gegenüber einer geringeren Wassermenge kann die Lufttrockenheit ganz wohl ihre verderbliche Rolle spielen. Auch Rawlinson [772] erwähnt des Verdunstens von turanischen Flüssen. In Afghánistan sind Heri-rúd und Murgh-áb im Winter wirkliche Flüsse, aber im Sommer zerfallen sie S. (299) in Aggregate

von Wasserlachen, und zuletzt hören sie ganz auf, nach Harnischs Berichte [773] eben auch wesentlich deshalb, weil Bewässerungsanlagen — im letzteren Falle die der uralten Kulturoase Merw — die Desiccationsthätigkeit (S. 577) der Atmosphäre unterstützen.

Dies alles zugegeben, wird doch daran festzuhalten sein, dass auch dann, wenn das Eintrocknen wirklich statthat, doch ein anderes Motiv von mehr denn sekundärer Bedeutung sein kann, und erst recht wird für Wasserläufe ausserhalb der subtropischen Zonen immer an diese zweite Ursache appelliert werden müssen. Bei anderer Gelegenheit wurde dieses Phänomen systematisch erörtert [774]; nunmehr mag eine summarische Hervorhebung der entscheidenden Gesichtspunkte genügen. Wir stellen nämlich die Behauptung auf: Je nach den wechselnden Beziehungen zwischen Stromgerinne und Grundwasserstrom in der Nachbarschaft ist ein Dreifaches möglich, indem das Gerinne sich aus dem Grundwasser speist, oder Neutralität (Indifferenz) stattfindet, oder endlich das Grundwasser dem Flusse Wasser entzieht, so dass letzterer unter Umständen zu gänzlichem Versiegen gebracht werden kann.

Wir haben oben (S. 789) die Gleichung der Staukurve des Grundwassers aufgestellt und sie als Parabel kennen gelernt; dass die Strömungslinien unter besonderen Umständen auch eine von der gewöhnlichen abweichende Gestalt annehmen, wie Cranz [775] für das Terrain zwischen zwei konvergierenden Wasserläufen gezeigt hat, und dass davon auch die Staukurve gestaltlich berührt wird, ist an sich einleuchtend. Doch verbleiben wir hier beim Normalfalle, welchen uns Fig. 173 vor das Auge stellt. BdcC ist das in das Terrain AD eingeschnittene Flussgerinne, ab der augenblickliche Spiegel. In der Gleichung (s. o.) kam als konstanter Koëffizient von x eine Grösse c_1 vor, über deren Wert von Hause aus gar nichts entschieden ist. Wenn c_1 positiv ist, so ist qq_1 die Staukurve, und der Fluss saugt Wasser aus dem Grundwasser auf; für $c_1 = 0$ fällt die jetzt geradlinig gewordene, auf den Strömungslinien des Grundwassers senkrecht verlaufende Staulinie mit der Verlängerung ar von ba zusammen; ein negatives c_1 schliesslich entspricht der Lage pp_1, der Staulinie, und nunmehr fliesst Wasser aus dem Gerinne in den durchlässigen Boden zu beiden Seiten über. Thatsächliche Beweise dafür, dass dies eintreten könne, hat Soyka [776] beigebracht; die Leitha, auf kurzer Strecke Grenzfluss zwischen Ungarn und Oesterreich, wird vom Orte Lanzenkirchen an bis gegen Zillingsdorf hin dermassen gegen das Bodenwasser hin abgezapft, dass eine namhafte Schwächung ihrer Wasserführung zu Tage tritt, und gleiches Schicksal erleidet, zwischen Gauting und Planegg, die dem Starnberger-See entströmende Würm. Die früher (S. 815) als des oberflächlichen Abflusses entbehrend bezeichneten Landschaften Oberösterreichs und Kroatiens enthalten auch derartige Wasserläufe. Als geradezu klassisches Beispiel können wir aber den Hachinger Bach, südöstlich von München, anführen, über den sich C. Gruber [777] geäussert hat. Zuerst in thonigem Untergrunde dahinfliessend, treibt dieses Flüsschen im Oberlaufe mehrere Mühlen, muss aber auch viel Wasser für Irrigation (Bewässerung) hergeben. In der Breite misst es im Maximum 12, in der Tiefe 0,9 m. Ziemlich bald, nachdem er aus dem Tertiär seines Ursprungsgebietes in das Diluvium (S. 679) eingetreten ist, beginnt für ihn das kurz währende Stadium der Indifferenz, und alsdann gibt der Bach sein Wasser stetig an den tiefer liegenden Grundwasserstrom ab. Brunnenverschluss bewirkte ein lebhafteres Fliessen des Wassers und eine Verlegung der Versitzstelle (S 795) nach vorwärts. Ob zwei weiter nördlich fliessende Bäche, welche der Volksmund als Fortsetzungen des Hachinger Baches bezeichnet, diesen Namen wirklich verdienen, bleibt dahingestellt; zur Klärung kann das nachstehend geschilderte Verfahren dienen.

Fig. 173.



Man hat bereits früher die Zusammengehörigkeit distanter Wasserläufe dadurch zu ermitteln gesucht, dass man geeignete Gegenstände — Sägespäne, Kochsalz u. dgl. — in die höher gelegene Wasser-

ader warf und nun zusah, ob weiter unten etwas davon zum Vorschein kam. Zu hoher Vollkommenheit brachte diese Art von Identitätsnachweis Knop [778] durch die Anwendung von Fluoresceïn. Dieses rötliche Pulver besitzt die Eigenschaft, in Wasser gelöst dieser Flüssigkeit eine lange nachwirkende, grüngelbliche Fluorescenz (I, S. 613) zu verleihen, und da eine Minimalquantität schon zur Färbung einer namhaften Wassermenge ausreicht, da zudem der Stoff nicht im geringsten gesundheitswidrig ist, so ist dieses Hilfsmittel allseitig als ein kaum zu übertreffendes anerkannt worden.

Durch Einschüttung einer Probe von Fluoresceïn wies Knop (a. a. O.) nach, dass zwischen oberer Donau und Oberrhein eine unterirdische Wasserverbindung besteht, ja dass der Rhein mitunter der Donau geradezu das Wasser entzieht. Später hat Piccard [779] ebenso dargethan, dass die Orbe aus dem Lac des Brenets ihr Wasser erhalte, und nach einzelnen Fehlschlägen wurde gleicherweise ein Zusammenhang zwischen den Trichtern des 226 m über der Quelle jenes Flusses gelegenen Lac de Joux und ebenderselben Quelle von Forel und Golliez konstatiert [780]. Das waren deutliche Kennzeichen für die Karstnatur des Schweizerischen Jura. Im italienisch-küstenländischen Karst wurden ähnliche Versuche von Doria [781] angestellt; eben der Umstand, dass Fluoresceïn aus den Höhlen von St. Kanzian nicht in den Lauf des Timavo gelangte, macht es überaus wahrscheinlich (vgl. S. 804), dass Timavo und Rjeka nicht als Teile des nämlichen Flusses angesprochen werden dürfen. Vielleicht die praktisch wichtigste Anwendung fand übrigens das Verfahren bei der Untersuchung der Wasserverhältnisse in der Umgebung von Florenz, welche De Agostini und G. Marinelli durchführten [782]. Man hatte als Quelle (Doue; vgl. S. 604) einen ergiebigen Wasserabfluss angesehen, der aus felsigen Schichten hervordrang, allein die Untersuchung durch Färbemittel belehrte darüber, dass man es bloss mit dem Unterlaufe eines oberhalb im Boden des verkarsteten Thales versinkenden, von Verunreinigungen keineswegs freien Baches zu thun hatte. Die Wasserleitungsfrage war damit in negativem Sinne erledigt. Was die Deutschen Alpen anlangt, so gewährt einiges Interesse die Entscheidung der alten Streitfrage, ob der Gollinger Wasserfall den Abfluss des Königs-Sees — durch das sogenannte Kuchler Loch — darstelle [783]. Die Alpenvereinssection Höchst a. M. liess 14 kg Farbstoff nahe bei jener Oeffnung in der den See östlich begrenzenden Kalkwand einschütten, und obwohl dies schon am 28. Mai (1896) geschehen war, liess sich doch noch am 1. Juni auch nicht die Spur einer Färbung des nächst Golling (bei Salzburg) einer Felswand entströmenden Schwarzbachs (S. 816) erkennen.

Neuerdings wird, auf Frischaufs Vorschlag [784] hin, das Fluoresceïn gewöhnlich in der als Uranin bekannten, leicht löslichen Form angewendet, weil deren Mitführung keine Unbequemlichkeiten verursacht. In allerneuester Zeit sind von Forel und Martel auch sehr bemerkenswerte, wiewohl noch Meinungsverschiedenheiten Raum gebende Studien über die Zirkulation gefärbten Wassers im Inneren von Gletschern bekanntgemacht worden [785] (vgl. S. 735). Zumal über die Geschwindigkeit solcher internen Bewegungen wird man auf diesem Wege einen weit mehr als bisher befriedigenden Aufschluss zu erhalten hoffen dürfen.

§. 14. **Die Ueberschwemmungen und deren Abwehr.** Ueberschwemmungen treten dann ein, wenn das Flussbett die Wassermenge, welche es aufnehmen soll, thatsächlich nicht aufzunehmen vermag, so dass also das Wasser die Ufer übersteigt und sich zu beiden Seiten — oder, falls eine Bergwand dies auf der einen verhindert, nur auf einer dieser Seiten — ausbreitet. Die Ursachen einer Ueberschwemmung können überaus mannigfaltige sein. Mit wenigen Ausnahmen, welche das Eingreifen des Menschen herbeiführt, gehören Ursachen und Folgen in das Gebiet der Geophysik, und so hat denn auch v. Sonklar mit vollem Rechte die Gesamtheit der hier in Betracht kommenden Aufgaben in einer selbständigen Monographie [786] abgehandelt.

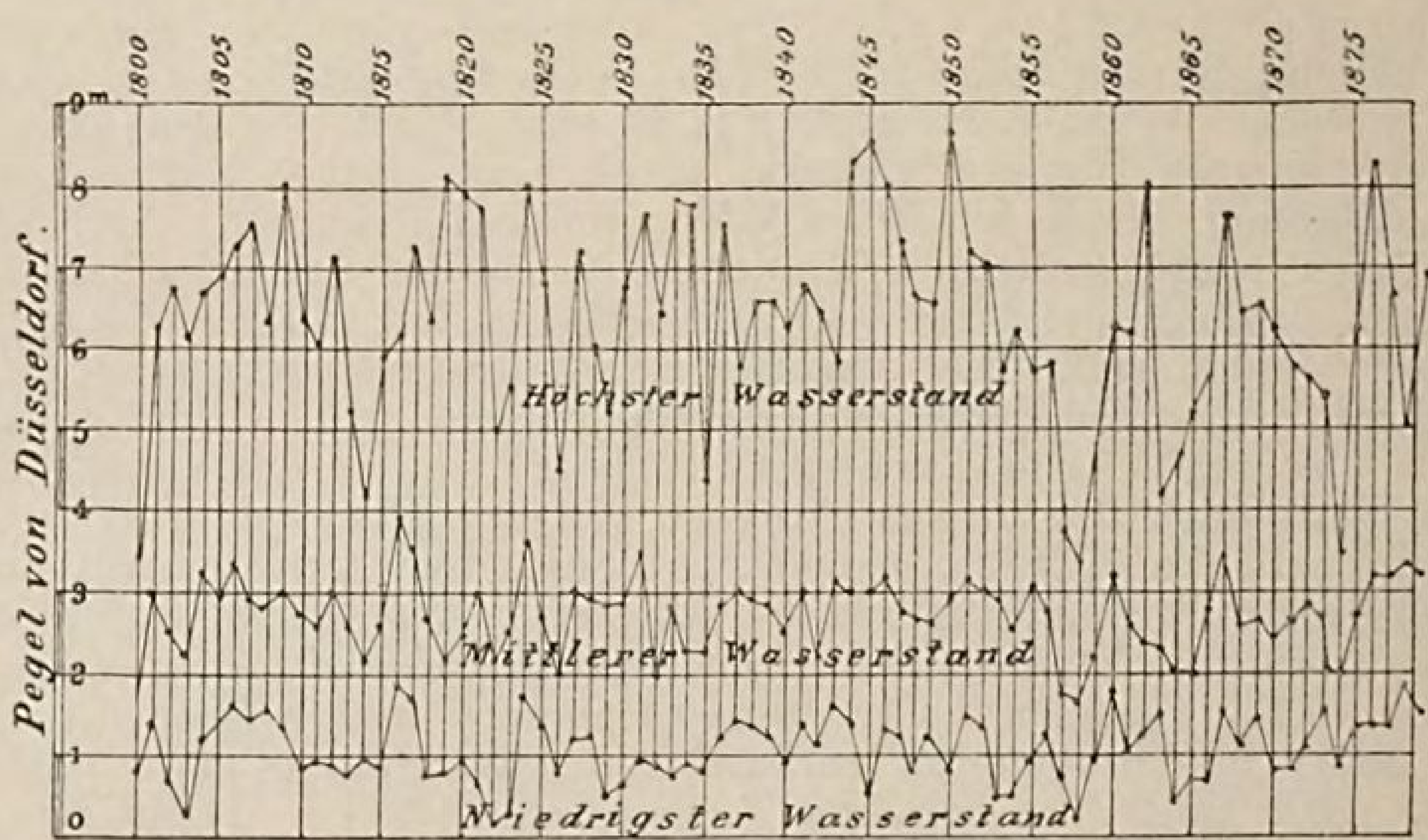
Schon im Altertum hatten die mit der grössten Regelmässigkeit wiederkehrenden, geradezu für die Festlegung des altägyptischen Jahres unentbehrlich gewesenen Nilüberschwemmungen (vgl. I, S. 3) die Aufmerksamkeit der ganzen gebildeten Welt auf sich gezogen, wie A. Bauers Spezialuntersuchung [787] beweist. Thales, Hecataeus, Herodot, Euthymenes, Anaxagoras, Democritus, Oenopides, Eudoxus, Agatharchides, Plinius, Pomponius Mela, Seneca und Lucanus, ja sogar der mauretanische König Juba (II., gest. 25 n. Chr.), sie alle haben sich mit dem für den damaligen Stand des geographischen Wissens freilich transzendenten Ereignis beschäftigt. Erst im XVII. Jahrhundert gab Js. Vossius in seinem uns bekannten (S. 513) inhaltreichen Werkchen die richtige Lösung, indem er einerseits für den Blauen Nil die Lage der Quellen bestimmte [788], für den Weissen Nil aber zutreffend auf die „ratio canonica pluviarum in zona torrida“ verwies [789], wie denn auch thatsächlich die Hochflut des Nils der Hauptsache nach als Konsequenz der tropischen Regenzeit zu gelten hat.

Die seismischen Fluten sind schon früher (I, S. 489) Gegenstand eingehender Erörterung gewesen, und ebenso haben wir uns mit den Ueberflutungen der Brandungswoge (S. 447) nicht mehr zu befassen. Es bleiben mithin die Ueberschwemmungen der Seen und Flüsse, aber auch von den ersteren mussten gewisse Erscheinungsformen schon früher (Abt. VIII, Kap. III, §. 14) der Betrachtung unterstellt werden. Wenn v. Sonklar [790] vier Gründe für den Austritt des in Seen aufgespeicherten Wassers anführt, nämlich zu starken Zufluss, gehemmten Abfluss, Aufstauung durch den Wind oder endlich Durchbruch durch das zuvor dem Abströmen entgegenstehende Hindernis, so bedarf nur dieser letztgenannte einer näheren Prüfung, die ihm (s. o.) teils schon zu teil wurde, teils weiter unten noch zu teil werden soll. Die Ursachen der Flussüberschwemmung hält v. Sonklar [791] mit denjenigen der Seenüberschwemmungen nicht scharf genug auseinander. Als oberste Veranlassung zur Bildung einer Hochflutwelle halten wir unter allen Umständen fest ungewöhnlich starken Regen- und Schneefall im Einzugsgebiete (S. 823), namentlich dann, wenn sich der gefrorene Boden dem Einsickern des Niederschlagswassers widersetzt. Abdämmung durch Bergstürze, Muhrbrüche (s. in Kap. V) und Sandverwehung kann gleichfalls eine — jedoch immer nur örtliche — Rolle spielen; in tropischen Regionen wirken ähnlich die Pflanzenbarren (S. 826); in Nordamerika entfaltet ein unscheinbares Tier eine ähnliche Thätigkeit. „Der Biber,“ so berichtet H. Credner [792] — „zieht seine Dämme quer durch die Thäler, staut die Bäche zu grossen, oft seeähnlichen Teichen an, entwässert die Sümpfe durch kunstvoll angelegte Kanäle und gibt dadurch Anstoss zu Wandelungen in der Vegetation und zu der Neubildung von Wasserläufen.“ Es können also gar viele Impulse zusammenwirken, aber sie treten an Bedeutung sämtlich gegen den an erster Stelle genannten in den Hintergrund. Penck empfiehlt [793] die Trennung der meteorologisch begründeten Schwellhochwassser von den — strenge genommen in das Kapitel von der terrestrischen Morphologie zu verweisenden — Stauhochwassern.

Obiges lässt sich vor allem auch von den kosmischen Ueberschwemmungsursachen behaupten. Mit gewohnter Kühnheit bringt Falb [794] aussergewöhnliche Hochfluten in Kausalbeziehung zu den kumulativ gesteigerten Gravitationswirkungen des Mondes und der Sonne. Höher anzuschlagen sind die immerhin durch eine umfängliche Statistik getragenen Studien von Reis [795], deren Hauptresultat schon früher (S. 174) citiert wurde. Doch ist auch die Sonnenfleckenfrequenz, mag sie immer eine derjenigen der Ueberschwemmungen vergleichbare Periode besitzen, ganz gewiss kein ausschlaggebender Faktor. Auch Katzerowsky und Zach, die beide zur Unterstützung der Reisschen Hypothese stattliches, teilweise auf sehr alte Zeiten zurückgehendes Material von der Elbe bearbeiteten [796], während Reis fast ausschliesslich auf den Rhein Rücksicht genommen hatte, konnten, so dankenswert ihre Mitteilungen an sich sind, den angestrebten Beweis keineswegs überzeugend erbringen. Wie äusserst schwer es fällt, einzig aus den Pegelständen eines Flusses Perioden herzuleiten, die doch wesentlich wieder nur die allfallsige Periodizität von Regen- und Schneefall abspiegeln können, mag das nach Supan [797] wiedergegebene Diagramm der Pegelaufzeichnungen einer niederrheinischen Stadt einleuchtend machen (Fig. 174). Jedem Flusse eignet eine Jahresperiode, aber diese kann sich, wenn eben die Befeuchtung von oben eine wechselnde ist, auch sehr verschieden offenbaren. Wenn ein Gletscherabfluss, der ja erwähntermassen (S. 735) sogar eine tägliche Periode aufweist, zuvor einen See passiert, der

als Klärungs- oder Läuterungsbecken dient, so kann es geschehen, wie Brückner [798] zeigt, dass der austretende Fluss das Vorland ohne Periode erreicht. Die berüchtigten Ueberschwemmungen des Jahres 1882 im Rheingebiete hat Honsell [799] auf die ursächlichen Vorgänge untersucht und dargethan, dass weder hydrotechnische Missgriffe bezüglich der Uferkorrektion, wie Viele glaubten, noch ausgedehnte Entwaldung, noch endlich plötzliche Aenderungen in der Wasserlieferung der Nebenflüsse den rapiden Eintritt einer Hochwasserwelle verschuldeten, sondern insbesondere durch die Notierungen der Schwarzwaldstation Höchenschwand (S. 312) liess sich mit Gewissheit feststellen, dass das Anwachsen des Stromes der Zunahme der Niederschläge genau parallel ging. Die Kurvenbilder Honsells sprechen in dieser Beziehung eine ganz einwurfsfreie Sprache. Gewiss ist ja die sonstige Beschaffenheit des Einzugsgebietes nicht etwa eine gleichgültige Sache; zumal mit Bezug auf die schwedischen Flüsse konnte Appelberg [800] auch den orographischen Charakter des Quellenbereiches und die dortige Verteilung von Seen, Wald, Wiesen und Ackerland als mitwirkende Elemente würdigen, allein dieselben sind eben doch nur sekundär. Den Einfluss der Abholzung hat man

Fig. 174.



längere Zeit (vgl. S. 285) auch überschätzt, wie Wondrak [801] und G. A. Koch [802] betonen, letzterer in seinen Thesen, „welche Momente in der Bekämpfung der Wildbäche und Hochwasserbildung zu berücksichtigen wären". Kaum bedarf es der Verwahrung, dass damit nicht etwa ein Misstrauen gegen die Wiederaufforstung kahler Berglehnen ausgedrückt sein soll, welche lokal die vorteilhafteste Einwirkung ausüben kann und von den einsichtigsten Forstwirten — wir nennen nur Demontzey [803], v. Raesfeldt [804] und v. Seckendorff [805] — wärmstens empfohlen worden ist. Die Beschaffenheit des Strombettes, vor allem seine Tiefe und Böschung, und gar manche weitere Eigenschaft will, wie Pralles Darlegung [806] ersehen lässt, gleichfalls berücksichtigt sein. Sogar die Gebirgsformation gehört hierher; wenn z. B. die den Buntsandstein durchziehenden Flüsse und Bäche sich durch Regelmässigkeit ihres Laufes auszeichnen [807], so ist hier auch die Ueberschwemmungsgefahr eine verhältnismässig geringere. Auch die Temperaturverhältnisse seien der Beachtung empfohlen, denn sie beeinflussen, wie Bubendey [808] des näheren ausführte, die Treibeisbildung, und durch diese wird unter Umständen einem Stauhochwasser (s. o.) Vorschub geleistet. Im ganzen aber bleibt der Satz intakt: Die meteorologischen Zustände im Einzugsgebiete bilden den mächtigsten Regulator der Bildung und Verbreitung einer Hochflutwelle.

Nun erhebt sich die Frage, was denn menschliche Voraussicht und Geschicklichkeit thun könne, um den gewaltigen wirtschaftlichen und anderweiten Schädigungen zu begegnen, welche von jeder Ueberschwemmung unzertrennlich sind. Wir können drei Vorkehrungen namhaft machen, durch welche, sei es dass jede für sich allein oder

eine Verbindung mehrerer als notwendig erscheint, jenes Ziel angestrebt werden kann. Es kann das Flussbett reguliert, es kann durch Einführung einer geordneten Wasserwirtschaft dem allzu raschen Ablaufen vorgebeugt, es kann endlich durch eine Hochwasserprognose den Umwohnern Gelegenheit zur rechtzeitigen Anwendung der an Ort und Stelle gebotenen Abwehrmassregeln gegeben werden.

Auf den ersten Punkt wird das nächste Kapitel besonders zurückzukommen haben; indessen können einige Andeutungen schon hier ihre Stelle finden. Allzuviel kann in der Mehrzahl der Fälle nicht geschehen; dies erläutert Saegert [809] an dem sehr beweiskräftigen Beispiele der schlesischen Gebirgsflüsse. Wenn ein Thal, wie z. B. das Hirschberger, durch seinen natürlichen Bau zur Rolle eines Staureservoirs verurteilt ist, so können Eindeichungen, wie sie ja sonst oft sehr am Platze sind, kaum etwas nützen. Wohl aber kann in Einzelfällen der Dammbau vorteilhaft sein; so empfiehlt Penck [810] für das oft heimgesuchte Eisackthal Doppeldämme, zwischen denen sich das überschüssige Wasser gefahrlos ansammeln kann. Manchmal wird auch durch eine Verlängerung des ursprünglichen Flusslaufes oder durch Ableitung in eine minder gefährliche Richtung Abhilfe zu schaffen sein. Der im Anfang des XVIII. Jahrhunderts unter S. Bodmers Oberleitung ausgeführte Kanderdurchstich, kraft dessen die Gewässer dieses durch zahlreiche Giessbäche mit Geschieben belasteten Flüsschens in den Thuner-See geleitet wurden, während sie vorher sich in die Aare ergossen, wurde von Graf [811] beschrieben. Ebenso zwangen stets wiederkehrende Inundationen und Eisstopfungen des gekrümmten alten Bettes der Weichsel dazu [812], einen in gerader Linie verlaufenden neuen Lauf zur Ostsee mittelst Durchstechung des Dünensaumes herzustellen, und seit am 31. Mai 1895 diese Austrittsöffnung gebildet war, nimmt der Eisgang (S. 827) anstandslos seinen Weg in das Meer, und die Stauhochflut hat aufgehört. — Die Art und Weise, wie durch Entwässerungsgräben für die ungarische „Strompathologie“, mit Peschel [813] zu reden, Hilfe gebracht und speziell der Bedrohung der unglücklichen Stadt Szegedin ein Ende gemacht werden kann, ist aus den Vorschlägen zu ersehen [814], welche Stefanović v. Vilovo und Toula gemacht haben.

Die künstliche Aufspeicherung des Wassers durch Sammelgräben, Teiche und Thalaufstauungen wird von technischer und nationalökonomischer Seite gleichmässig gefordert. Details enthalten die einschlägigen Arbeiten von Classen [815], Schlichting [816], Frauenholz-Garbe [817] und Wollny [818], welche über Prinzipien und Ausführung Aufschluss erteilen. Man kommt durch solche Reservoiranlagen dem Ideale nahe, dass kein Wassertropfen das Meer erreicht, ohne zuvor irgendwie nutzbringende Arbeit geleistet zu haben. „Auf dem wohlbemessenen Ausgleiche des zeitlich und örtlich auftretenden Mangels und Ueberflusses von Wasser beruht die regelmässige Wasserwirtschaft“ [819]. Wenn Flusswasser in einem günstig gelegenen Thale aufgestaut wird, muss es durch eine Thalsperre abgeschlossen werden, die man mit aller erdenklichen Vorsicht aufführen wird, denn eine schlechte Sperre ist nach A. Heim [820] weit gefährlicher als gar keine, und die Anzahl der Unglücksfälle, welche durch Bersten der Stirnmauer entstanden, ist leider keine unbeträchtliche. Von einem Dammbruche in Arabien erzählen Inschriften, die vor 1500 Jahren gemeisselt und von Glaser [821] aufgefunden wurden. Katastrophen, wie diejenigen von Algerien (1882), Pennsylvanien (1889), Bouzey im oberen Avièrethale (Frankreich; 27. April 1895), sind noch in aller Erinnerung. Das geplatzte Becken enthielt nach Krebs [822] 7 Mill. cbm Wasser, und der Dammbruch kostete 156 Menschenleben und 40 Mill. Mark Eigentum. Die Wirkungen sind natürlich ganz die gleichen, wie beim Ausbruche eines Gletscherstausees (Kap. III, §. 14). Desungeachtet nimmt die Anlage solcher Stauwerke fortwährend zu. Saegerts Mitteilungen zufolge (s. o.) ist Indien besonders reich an solchen; die Präsidentschaft Madras allein besitzt 53000 Sammelteiche mit 48000 km Dammlänge. In Europa ist die Gileppeaufstauung bei Verviers (13 Mill. cbm Inhalt), in Nordamerika sind die kalifornische Bärenthalsperre (39 Mill. cbm) und die Crotonthalsperre bei New York (125 Mill. cbm) besonders zu nennen. Intze [823] stellt allgemein die Normen auf, welche bei der Aufrichtung von Staumauern zu beachten sind, erläutert sie am Beispiele der Wupperthaler Dämme und kennzeichnet

deren Bedeutung für Fabrikwesen und elektrische Kraftübertragung. 4 bis 5 m Dicke der Krone wird [824] angesichts des ungeheueren hydrostatischen Seitendruckes als der geringste Wert betrachtet, wenn das kühne Werk volle Sicherheit gewährleisten soll. Den Berechnungsmodus setzt Luegers Artikel [825] „Hochbehälter“ auseinander, während Forchheimer [826] die Druckverhältnisse mathematisch zu berechnen lehrt. — Ein wahres Paradigma für die durch Sammelweiher zu erreichende Wasserversorgung trockener Gegenden ist durch v. Ehmann [827] für die Rauhe Alb in Württemberg erzielt worden.

Rechtzeitige Vorherverkündigung des Eintreffens einer Hochflutwelle kann immenses Unglück abwenden, und seitdem die deutschen „Wasserreiter“ der fünfziger Jahre, die z. B. an der Pegnitz in Aktion waren, dem elektrischen Telegraphen Platz machen mussten, funktioniert die Prognose an vielen Orten ganz tadellos. Am 25. April 1894 barst nach Krebs (s. o.) die vorderindische Thalsperre von Behaii-Ganga, allein trotzdem ging kein Mensch zu Grunde, denn die unmittelbare Umgebung der Unglücksstelle ist unbewohnt, und thalabwärts hatte die telegraphische Benachrichtigung so rasch gewirkt, dass jedermann sich in Sicherheit bringen konnte. Die Chinesen haben, wie wir von Hirth [828] erfahren, seit uralter Zeit am Tai-hu-See ein eigentümliches System von Pegelaufzeichnungen eingeführt, durch welches das Austreten des Seewassers vorher erkannt werden soll. Für die europäische Wissenschaft legte Belgrands Seine-Werk (S. 821) die Grundlage zu rationellem Vorgehen in dieser Angelegenheit; in Deutschland folgten Maas [829] mit Vorschlägen für einen prognostischen Dienst auf der Elbe und Sonne [830] mit einer allgemeinen Erörterung darüber, wie aus dem Verlaufe der Kurven gleicher Wassermengen das Eintreffen der Hochflutwelle zu prognostizieren ist; hydrographische Aemter, wie deren eines in Baden seit längerer, in Bayern seit kürzerer Zeit organisiert ist, haben nach Sonne [831] u. a. auch folgenden Wirkungskreis: „Die Anwendung und Vervollkommnung der Technik der Hochwasserprognosen, die Ausbildung des Hochwassernachrichtendienstes, die Pflege der hydrometrischen Beobachtungen, die Errichtung hydrometrischer Haupt- und Zentralstationen.“ Was für die Prognose mit den Hilfsmitteln der Mathematik geleistet werden kann, hat Lueger [832] gezeigt. Einen besonders viel versprechenden Weg hat aber neuerdings Rykatschew betreten, dessen Resultaten Gravelius in Deutschland Eingang verschaffte [833]. Man sucht zu ermitteln, an welchem Orte A des Oberlaufes jene Wellen entstehen, welche unten, in B, erhebliche Wasserstandsschwankungen erzeugen. Die bei Twer (A) (Fig. 175), am Einflusse der Twerza in die Wolga, gebildeten Wellen haben bereits bei Rybinsk (B) die charakteristische Gestalt angenommen, an welcher man sie später immer wieder erkennt. Rykatschew stellte für die vier Uferplätze Rybinsk, Kostroma, Nishnij-Nowgorod und Werchnij-Usslon nach Möglichkeit die Termine der Maxima und Minima des Frühlingshochwassers fest und bekam so die Zeiten des Fortschreitens des Wellenscheitels; für die Wasserstandshöhen fanden sich, in unmittelbar verständlicher Symbolik, nachstehende Werte: U = 1,8 N; U = 1,09 K; U = 1,09 R. Dürfte von den Seitenflüssen abgesehen und angenommen werden, dass zwischen dem oberen Pegelstande h und dem unteren h_n eine Relation von der Form $h = a_0 + a_1 h_n + a_2 h_n^2 + \ldots$ ($a_0, a_1, a_2 \ldots$ empirische Konstanten) bestehe, so würde in der Regel $a_0 = 0$ und jedes a_i ($i \geqq 2$) ebenfalls klein genug sein, um in erster Annäherung vernachlässigt werden zu können, so dass also $h = a_1 h_n$ zu setzen wäre (s. o.). Die Beobachtung ergab, dass der Höhenfehler für den untersten Ort $\pm$ 0,2 Sashen (1 Sashe = 2,1336 m) nicht überstieg, wenn die Voraussage einen Zeitraum von höchstens 5 Tagen umfasste. Indem ferner der russische Meteorologe die Oszillationen der Pegelstände mit denen des Regenfalles im Einzugsgebiete verglich, erhielt er für Rybinsk, Nishnij-Nowgorod und Murom (an der die Moskwa aufnehmenden Oka) Zeitintervalle zwischen den analogen Phasen der Koinzidenz, deren Fehler höchstens auf $\pm 3^d$ anstieg. Durch Verwertung der Begriffe Regennorm (r) — dieselbe wird erfordert zur Erhaltung eines konstanten Wasserstandes — und relatives Niederschlagsübermass (ρ) gelangte man dazu [834], für die

Fig. 175.



auf n^d entfallende Niederschlagsmenge (S) eine Gleichung $\rho = S - n r$ aufzustellen; die Uebermasswerte wurden für das Wolga- und Okagebiet tabellarisch gebucht, und es trat zu Tage, dass die alternierende Bewegung der Wasserstände völlig mit der Hebung und Senkung des relativen Niederschlagsübermaſses korrespondiert. — Weitere Studien von Gravelius [835] dienen der Vervollkommnung dieser Berechnungsmethode, und auch Kleiber [836] hat die Gestalt der die Wasserstände graphisch darstellenden Kurven eingehender geometrischer Betrachtung unterzogen. Endlich möge auch an Weber v. Ebenhofs [837] Charakteristik der Hochflutbewegung in der Etsch erinnert werden.

Besonders schlimme Ueberschwemmungen sind diejenigen, welche von den sogenannten Wildbächen der Hochgebirge hervorgerufen

Fig. 176.



werden, denn diese Gewässer ermangeln des eigentlichen Bettes und sind deshalb schwer zu lenken. Gleichwohl hat die Wildbachverbauung in neuerer Zeit grosse Fortschritte gemacht. Die Folgen einer solchen Flut, eines Muhrbruches, werden in Kap. V behandelt; hier soll uns nur das morphographische Element beschäftigen. Die Schriften von P. Lehmann [838] und Toula [839] sind die besten Ratgeber für den, der sich tiefer mit der Sache einzulassen gedenkt.

Von einer „torrentium ratio" sprach bereits Vossius [840]. Im XVIII. Jahrhundert begann eine umfassendere Behandlung der für die Alpenländer hochwichtigen Frage der Wildwasserbekämpfung durch v. Zallinger [841], dessen hydraulische Arbeiten v. Schrank [842] gesammelt hat; bald folgte eine Denkschrift von Fabre [843], und was v. Streffleur, Duile, G. A. Koch (s. o.) und ganz besonders Surell-Cézanne [844] für die Kunde der Sturzbäche und ihrer Wirkungen geleistet haben, wurde von Lehmann (s. o.) verwertet. Dieser

Geograph unterscheidet Sammelgebiet, Sammelkanal und Schuttkegel; erstere beide gehören dem Berge selbst, der letztere dem Thalboden an. Kaum irgendwo wird sich ein solcher so imposant offenbaren, wie es derjenige des Alvierbaches (bei Bludenz) thut. Das konkave Sammelbecken ist für gewöhnlich leer; aber ein einziger Platzregen füllt die zahllosen leeren Furchen, die im Sammelkanale zusammenlaufen. Eigentliche Kunstbauten zur Regulierung des Ablaufes haben italienische Ingenieure bei der Pontebba-Bahn, bayerische im Allgäu (hauptsächlich nächst Immenstadt und Pfronten) hergestellt; wie man dabei vorzugehen habe, erläutert trefflich das schöne Modell, welches Davis [845] gezeichnet hat. Zumal Faschinenbauten und Schlickzäune, welch letztere eben durch die herangewälzten Detritusmassen verpicht („verschlickt") werden, haben sich bewährt. Nach Démontzey und Toula [846] ist in Fig. 176 eine charakteristische Probe des Wildbachschutzes durch eine Reihe von Querdämmen zur Regulierung und Verzögerung des Ablaufes zur Darstellung gebracht. Jede Vorfeldsperre verhindert, wie Fugger [847] im Oberpinzgau bestätigt gefunden hat, dass der Schwall der abstürzenden Wassermassen allzuheftig gegen den Hauptstaudamm selbst anstürmt. Die allgemeinen Prinzipien der Wehranlage wurden von Landolt [848] umständlich auseinandergesetzt.

[1] Friedr. Pfaff, Das Wasser, München 1870 (D. N., IV). — [2] Tyndall, Das Wasser in seinen Formen als Wolken und Flüsse, Eis und Gletscher, Leipzig 1873; 2. Aufl. 1879 (J. w. B., I). — [3] H. W. Dove, Der Kreislauf des Wassers auf der Oberfläche der Erde, Berlin 1874. — [4] Lersch, Hydrophysik, Bonn 1870; Hydrochemie, ebenda 1870. — [5] Goethes sämtliche Werke in 40 Bänden, II, Stuttgart 1869, S. 23. — [6] A. Heller, Geschichte der Physik von Aristoteles bis auf die neueste Zeit, II, Stuttgart 1884, S. 455. — [7] Ebenda, II, S. 523. — [8] E. Hoppe, Geschichte der Elektrizität, Leipzig 1884, S. 136 ff.; G. A. P., VI, S. 470 ff. — [9] Peschel, Neue Probleme der vergleichenden Erdkunde als Versuch einer Morphologie der Erdoberfläche, Leipzig 1878, S. 175. — [10] Heer, Die Urwelt der Schweiz, Zürich 1865, S. 22 ff. — [11] A. Wettstein, Geologie von Zürich und Umgebung, Zürich 1885, S. 50 ff. — [12] Penck, Morphologie der Erdoberfläche, II, Stuttgart 1894, S. 210. — [13] v. Fritsch, Allgemeine Geologie, Stuttgart 1888, S. 226. — [14] O. Marinelli, Il lago di Cavazzo, Udine 1892, S. 9. — [15] v. Richthofen, Führer für Forschungsreisende, Berlin 1886, S. 180 ff. — [16] v. Gümbel, Geologie von Bayern, Kassel 1894, S. 531 ff. — [17] Alb. Schmidt, Ein verschwundener See im Fichtelgebirge, Bd., IX, S. 356 ff. — [18] S. Roth-Le Monnier, Die Seen der Hohen Tátra, M. G. G. W., 1888, S. 199 ff. — [19] Roedel, Zur Heimatkunde von Frankfurt a. d. O., ebenda 1886, S. 13 ff. — [20] M. Dittmar, Die beiden ältesten Magdeburger Topographen, A. L. V. P. S., III, S. 17. — [21] E. H. L. Krause, Die salzigen Gefilde; ein Versuch, die zoologischen Ergebnisse der europäischen Quartärforschung mit den botanischen in Einklang zu bringen, B. J. S. P. P., XVII, Beibl. Nr. 40. — [22] Ochsenius, Bedeutung des orographischen Elementes „Barre" in Hinsicht auf Bildungen und Veränderungen von Lagerstätten und Gesteinen, Z. p. G., 1893, 5. Heft. — [23] O. Lang, Ueber die Form- und Massenverhältnisse der Salzlager, Essen 1896. — [24] Hilgard, Die Bildungsweise der Alkalikarbonate in der Natur, B. d. d. C. G., XXV, S. 3624 ff. — [25] F. Brendel, Flora Peoriana; die Vegetation im Klima von Mittelillinois, Budapest 1883, S. 33 ff. — [26] Penck, a. a. O., II, S. 204. — [27] Lombardini, Della natura dei laghi, M. J. L., II, S. 393. — [28] Schrenk, Ideen zu einer Hydrographie der Landseen, Dorpat 1852, S. 18. — [29] Penck, II, S. 206. — [30] Sieger, Die Schwankungen der hocharmenischen Seen, M. G. G. W., 1888, S. 414 ff. — [31] Putick, Die Ursachen der Ueberschwemmungen in den Kesselthälern von Innerkrain, W. ö. A. J. V., 1888, S. 315 ff. — [32] Hassert, Der Skutari-See, Gl., LXII, Nr. 1, 2, 4, 6. — [33] F. Kraus, Sumpf- und Seenbildungen mit besonderer Berücksichtigung der Karsterscheinungen und insbesondere der Katabothrenseen, M. G. G. W., 1892, S. 373 ff. — [34] v. Tillo, Die Meereshöhen der Seen Ladoga, Onega und Ilmen und das Gefälle des Ladoga-Sees, M. p. c. B. A. P., XII, S. 384. — [35] Graf Sczechényi, Funde aus der Steinzeit im Neusiedler-See, Budapest 1876. — [36] A. Kircher, Mundus subterraneus, I, Amsterdam 1664, S. 83 ff. — [37] Wisotzki, Die Strömungen in den Meeresstrassen; ein Beitrag zur Geschichte der Erdkunde, A., LXV, S. 451 ff. — [38] Lorenzen, Der Reliktensee Mogilnoje, Gl., LXXI, S. 227. — [39] Die Forschungsreisen Miklucho Maklays, V. G. E. B., X, S. 107. — [40] Woeikow, Flüsse und Seen als Produkte des Klimas, Z. G. E. B., XX, S. 92 ff.; Schwankungen des Wasserspiegels der grossen amerikanischen Seen und des Ladoga-Sees, Z. ö. G. M., XVI, S. 287 ff.; Les rivières et les lacs de la Russie, A. s. p. n., 1885, S. 1 ff. — [41] Penck, II, S. 235 ff., 254 ff. — [42] R. Credner, Die Reliktenseen; eine physisch-geographische Monographie, P. G. M., I, E. H. Nr. 86; II, E. H. Nr. 89. — [43] Peschel, a. a. O., S. 175. — [44] Ueber die Entstehung des Baikal-Sees, Nfr., XVIII, S. 45. — [45] Credner, a. a. O., II, S. 6 ff. — [46] v. Helmersen, Geologische und physikogeographische Beobachtungen im Olontzer Bergreviere, St. Petersburg 1882. — [47] Rütimeyer, Ueber Pliozän und Eisperiode auf beiden Seiten der Alpen, Basel 1876. — [48] Credner, II, S. 11 ff. — [49] Lartet, Voyage d'exploration à la Mer Morte par le Duc de Luynes, III, Paris 1877. — [50] Neumayr-Uhlig, Erdgeschichte, I, Leipzig-Wien 1895, S. 563. — [51] Dybowski, Notiz über eine die Entstehung des Baikal-Sees betreffende Hypothese, B. S. J. M., 1884, I, S. 178 ff. — [52] Credner, II, S. 28 ff. — [53] Schmick, Die Aralo-Kaspi-Niederung und ihre Befunde im Lichte der Lehre von den säkulären Schwankungen des Seespiegels und der Wärmezonen, Leipzig 1874. — [54] v. Schwarz, Sintflut und Völkerwanderung, Stuttgart 1894. — [55] v. Richthofen, China, I, Berlin 1877, S. 24 ff., 104 ff. — [56] Penck, II, S. 246 ff. — [57] v. Kloeden, Seentabelle, Z. G. E. B., XX, S. 416 ff. — [58] Peucker, Europäische Seen nach Meereshöhe, Grösse und Tiefe, G. Z., II, S. 606 ff. — [59] Halbfass, Die europäischen Seen über 1 qm Flächeninhalt, Gl., LXXI, S. 32. — [60] De Agostini, Sullo stato attuale degli studi batometrici dei laghi italiani coll' aggiunta di un saggio per una bibliografia limnologica italiana, Florenz 1899 (III, Congr. Geogr. Ital.). — [61] Ule, Die Tiefenverhältnisse der ostholsteinischen Seen, J. p. G. L., 1890, S. 102 ff. — [62] Ule, Die Tiefenverhältnisse der masurischen Seen, ebenda 1889, S. 1 ff.; Die Seen des baltischen Höhenrückens, A., LXV, S. 673 ff., 694 ff., 710 ff. — [63] Bludau, Die Oro- und Hydrographie der preussischen und pommerschen Seenplatte, insbesondere im Stromgebiete der Weichsel, P. G. M., E. H., Nr. 110. —

[64] Geinitz, Die Seen, Moore und Flussläufe Mecklenburgs, Güstrow 1886. — [65] Halbfass, Ueber die Tiefen norddeutscher Seen, Gl., LXIX, S. 16 ff.; Ueber einige norddeutsche Seen, ebenda, LXX, S. 126 ff. — [66] Halbfass, Der Arend-See in der Altmark, M. V. E. H., 1896, S. 18 ff. — [67] Peucker, a. a. O., S. 613. — [68] Follmann, Die Eifel, Stuttgart 1894, S. 31 ff.; Halbfass, Die Moore der Eifel in ihren Tiefen- und Temperaturverhältnissen untersucht, P. G. M., XLIII, S. 149 ff. — [69] E. Küster, Die deutschen Buntsandsteingebiete, ihre Oberflächengestaltung und anthropogeographischen Verhältnisse, ebenda 1891, S. 28 ff. — [70] Ule, Die Mansfelder Seen, Halle a. d. S. 1888. — [71] Ule, Das Sinken des Wasserspiegels im Salzigen See bei Eisleben, A., LXV, S. 493 ff. — [72] Hergesell-Langenbeck, Die Seen der Südvogesen, G. G. A. R., I, S. 121 ff. — [73] Grad, Lacs et réservoirs des Vosges, A. c. a. f., 1877, S. 496 ff. — [74] Thoulet, Contribution à l'étude des lacs des Vosges, B. S. G., (7) XV, S. 557 ff. — [75] F. Bayberger, Geographisch-Geologische Studien aus dem Böhmerwald, P. G. M., E. G., Nr. 81, S. 37 ff. — [76] Frejlach, Geofysikálná pozorování v jezeře Plöckensteinskem, V. C. Ak., IV, 6. — [77] Penck, Friedrich Simony, Leben und Wirken eines Alpenforschers; ein Beitrag zur Geschichte der Geographie in Oesterreich, Wien 1898 (P. G. A., VI, 3), S. 38 ff. — [78] v. Boehm, Zur Biographie Friedrich Simonys, Wien 1899, S. 6 ff. — [79] F. Simony, Die Seen des Salzkammergutes, S. A. W., M. N., 1850, S. 542 ff.; Vorlage von Profilen der Seen des Salzkammergutes nach eigenen Messungen, J. G. R., 1851, S. 170 ff. — [80] A. Geistbeck, Die Seen der Deutschen Alpen, Leipzig 1885 (M. V. E. L.). — [81] A. Geistbeck, Die Temperatur- und Eisverhältnisse der bayerischen Seen, A., LV., S. 963 ff., 1006 ff.; Die südbayerischen und nordtirolischen Seen, Z. d. ö. A., XVI, S. 334 ff. — [82] v. Jolly, Bathometer und graphisches Thermometer, S. A. M., M. P., 1862, S. 248 ff.; Temperaturbestimmungen in den Tiefen einiger bayerischer Gebirgsseen, A. P. C., CXXII, S. 659 ff. — [83] F. Pfaff, Notizen über Temperatur und Tiefe des Achen-Sees, M. d. ö. A., VI, S. 206. — [84] Halbfass, Tiefen- und Temperaturverhältnisse einiger Seen des Lechgebietes, P. G. M., XLI, S. 225 ff. — [85] Loewl, Der Lüner-See, Z. d. ö. A., XIX, S. 25 ff. — [86] Fugger, Salzburgs Seen, M. G. S. L., XXX. — [87] Seeland, Temperaturen und Eisverhältnisse des Wörther-Sees, M. Z., IX, S. 272 ff. — [88] Grissinger, Untersuchungen über die Tiefen- und Temperaturverhältnisse des Weissen-Sees in Kärnthen, P. G. M., XXXVIII, S. 153 ff. — [89] Damian, Der Molveno-See, P. G. M., XXXVI, S. 262 ff.; Seenstudien, M. G. G. W., 1892, S. 471 ff. — [90] E. Bayberger, Der Chiem-See, Leipzig 1888 (M. V. E. L.). — [91] Schjerning, Der Zeller-See im Pinzgau, Z. G. E. B., XXVIII, S. 367 ff. — [92] Penck-E. Richter-Müllner-Liebisch-Ludwig, Atlas der österreichischen Alpenseen, Wien 1897; P. G. A., VI, 2; Müllner, Die Temperaturverhältnisse der Seen des Salzkammerguts, Graz 1895. — [93] Lorenz v. Liburnau, Der Hallstatter See, eine limnologische Untersuchung, M. G. G. W., 1898, S. 1 ff. — [94] Ule, Der Starnberger See, G. Z., III, S. 545 ff. — [95] Morozzo, Sur la température de l'eau de quelques lacs et de quelques rivières à différentes profondeurs, Turin 1790. — [96] Gentilli, Quelques considérations sur l'origine des bassins lacustres à propos des sondages du lac de Come, M. S. J. S. N., II, Nr. 2. — [97] Gastaldi, Scandagli dei laghi di Moncenisio, di Avigliana, di Trana e di Mergozzo, A. A. S. T., III, S. 373 ff. — [98] G. Marinelli, La Terra, Mailand-Neapel-Rom-Florenz 1884, S. 451. — [99] O. Marinelli, Elementi geografici dei principali laghi delle Alpi Carniche, J. At., IV, Nr. 2; Alcune recenti esplorazioni di laghi delle nostre Alpi, G. p. t., 1893, Nr. 12; Volume e media profondità del lago Maggiore, R. S. G. J., III, 1. u. 2. Heft; Alcune notizie sopra il lago di Pergusa, ebenda, III, 11. Heft. — [100] G. Marinelli-G. Gortani-L. Gortani, Lazzarini, O. Marinelli, Guida della Carnia (bacino superiore del Tagliamento), Udine 1898, S. 41 ff. — [101] De Agostini, Scandagli e ricerche fisiche sui laghi dell' anfiteatro morenico d'Ivrea, Turin 1894; Sulla temperatura, colorazione e trasparenza di alcuni laghi piemontesi, ebenda 1895; Il lago d'Orta, ebenda 1897; Esplorazioni idrografiche nei laghi volcanici della provincia di Roma, B. S. G. J., 1898, 2. Heft, Rom 1898; Il lago di Canterno, ebenda 1898, 9. Heft; Il lago del Matese, Rom 1899. — [102] De Vescovi, Notizie sulla formazione di un nuovo lago nella provincia di Roma, Rom 1896. — [103] Folgheraiter, Frammenti concernenti la geofisica dei pressi di Roma, Nr. 3, ebenda 1896. — [104] Forel, Ricerche fisiche sui laghi d'Insubria, R. J. L., 1889, S. 739 ff. — [105] Hassert, Der Fuciner See einst und jetzt, Gl., LXXII, S. 88 ff., 105 ff. — [106] Forel, Le Léman; monographie limnologique, I, Genf 1892; II, Basel-Genf-Lyon 1895. — [107] Halbfass, Morphometrie des Genfer-Sees, Z. G. E. B., XXXII, S. 219 ff. — [108] Steck, Die Wassermassen des Thuner- und des Brienzer-Sees, J. G. G. B., XI, S. 177 ff., Egli, Grössen und Tiefen der Schweizer Seen, P. G. M., XXXIX, S. 125 ff. — [109] Penck, II, S. 323. — [110] Delebecque, Les lacs français; ouvrage couronné par l'académie des scienes, Paris 1898. — [111] Halbfass, Besprechung hiezu, P. G. M., XLIV, S. 86 ff. — [112] Boule, Les lacs de l'Auvergne et du Vélay, B. S. Gl. F., (3) XXIV, S. 759 ff. — [113] Rein, Geographische und naturwissenschaftliche Abhandlungen, I, Leipzig 1892, S. 169 ff. — [114] Hull, Physical Geography and Geology of Ireland, London 1891. — [115] A. Geikie, The Scenery of Scotland, London 1865. — [116] Ramsay, Physical Geology and Geography of Great Britain, London 1878. — [117] Murray, On the Effects of Wind on the Distinction of Temperature in the Sea- and Fresh-Water Lochs of the West of Scotland, Sc. G. M., IV, S. 345 ff. — [118] Helland, Om botner og säkkedale, G. F. F., II, S. 286 ff. — [119] Nielsen, Norwegen, Schweden und Dänemark, Leipzig-Wien 1893, S. 139, 89, 94. — [120] Sieger, Seenschwankungen und Strandverschiebungen in Skandinavien, Z. G. E. B., XXVIII, S. 1 ff. — [121] Retzius-Appel, Finnland; Schilderungen aus seiner Natur, seiner alten Kultur und seinem heutigen Volksleben, Berlin 1884, S. 18 ff. — [122] Woeikow, Die Klimate der Erde, II, Jena 1887, S. 267 ff. — [123] P. G. M., L. B., XXXXIII, Nr. 302; K. J., VIII, S. 251 ff. — [124] E. G. E., VII, 15, S. 2 ff. — [125] Oberhummer, Zur Geographie von Griechenland, J. G. G. M., X, S. 115 ff. — [126] C. Neumann-Partsch, Physikalische Geographie von Griechenland, mit besonderer Rücksicht auf das Altertum, Breslau 1885, S. 243 ff. — [127] Philippson, Der Kopais-See, Z. G. E. B., XXIX, S. 1 ff. — [128] Philippson, Der Peloponnes, Versuch einer Landeskunde auf geologischer Grundlage, Berlin 1892, S. 500 ff. — [129] Cvijić, Das Karstphänomen, Versuch einer morphologischen Monographie, Wien 1893 (P. G. A., V, 3), S. 300 ff. — [130] v. Buchwald, Die Plitvicer Seen und ihr Vorland, Fiume 1896. — [131] Umlauft, Die Plitvicer Seen in Kroatien, D. R. G. St., XXI, S. 22 ff. — [132] Pech, Drischenkos Erforschung des Baikal-Sees, Gl., LXXII, S. 144 ff. — [133] K. J., V, S. 251. — [134] Sieger, Schwankungen der innerafrikanischen Seen, B. V. G. W., XIII, S. 41 ff. — [135] D. R. G. St., XX, S. 283; K. J., IX, S. 266. — [136] Geological and Natural Historical Sketches of Minnesota, XX, S. 181 ff. — [137] Petitot, Exploration de la région du grand lac des Ours, Paris 1893. — [138] Humboldt, Werke, V, S. 200 ff. — [139] Nusser-Asport, Die Abnahme der Wassermenge des Titicaca-Sees, Gl., LXIX, S. 389 ff. — [140] A. Geistbeck, Die Seen etc., S. 282 ff. — [141] Penck, Morphol. etc., II, S. 215 ff.; Morphometrie des Boden-Sees, J. G. G. M., XV, S. 119 ff. — [142] E. Ritter, Morphométrie du lac Majeur, L. G., XXXV, S. 1 ff. — [143] Ule, Die Seenkunde und ihre Bedeutung, Z. Gw., II, S. 55 ff. — [144] Spring, Sur la cause de l'absence de coloration de certaines eaux limpides naturelles, B. A. B., 1898, S. 267 ff. — [145] H. W. Vogel, Spektralanalytische Untersuchung des Lichtes der Blauen Grotte auf Capri, A. P. C., (2) VI, S. 325 ff. —

[146] Soret, Recherches sur l'absorption des rayons ultra-violets, C. R., LXXVI, S. 708 ff. — [147] Boas, Beiträge zur Erkenntnis der Farbe des Wassers, Kiel 1881. — [148] Spring, Sur la couleur des alcools comparée à la couleur de l'eau, A. s. p. n., 1896, I, S. 434 ff. — [149] Abegg, Ueber die Farbe der Meere und Seen, N. R., XIII, Nr. 14. — [150] Spring, Sur l'origine de la couleur bleue du ciel, B. A. B., 1898, S. 504 ff. — [151] Abegg, Ueber das Blau des Himmels und der Meere, N. R., XIV, Nr. 13. — [152] Ule, Der Starnberger-See, S. 552. — [153] Wallmann, Farbe der Alpenseen und Alpengewässer, Z. G. E. B., IV, S. 164 ff. — [154] Schwager, Hydrochemische Untersuchungen oberbayerischer Seen, G. J., X, S. 60 ff. — [155] Ebenda, S. 63. — [156] Forel, Le Lac Léman; précis scientifique, Basel-Genf-Lyon 1886, S. 30. — [157] Harz, Ueber die im Jahre 1886 beobachtete Trübung des Schlierseewassers, B. C., XXX, S. 286 ff. — [158] Zacharias, Die Tier- und Pflanzenwelt des Süsswassers, Leipzig 1891; Lampert, Das Leben der Binnengewässer, Leipzig 1899. — [159] Huitfeld-Kaas, Plankton in norwegischen Binnenseen, Bl. C., XVIII, Nr. 17. — [160] S. Roth-Le Monnier, Die Seen der Hohen Tátra, M. G. G. W., 1888, S. 199 ff. — [161] F. K. Schimper, Wasser und Sonnenschein oder die Durchsichtigkeit und der Glanz der Gewässer betrachtet nach ihrem Einfluss auf die Entwickelungen organischer und geologischer Art am Aeusseren des Erdballes, Schwetzingen 1864. — [162] Forel, Programme d'études limnologiques pour les lacs subalpins; A. s. p. n., 1886, S. 471 ff.; Instructions pour l'étude des lacs, St. Petersburg 1887. — [163] Grissinger, Untersuchungen etc., S. 156 ff. — [164] Forel, Classification thermique des lacs d'eau douce, C. R., CVIII, S. 587 ff. — [165] Delebecque, Sur les lacs de Sept-Laux (Isère) et de la Girotte (Savoie), C. R., CXVI, S. 700 ff. — [166] E. Richter, Die Temperaturverhältnisse der Alpenseen, V. 9. D. G., S. 189 ff. — [167] E. Richter, Seestudien, S. 67. — [168] Thoulet, Contribution etc., S 579 ff. — [169] E. Richter, Untersuchungen am Garda-See, M. d. ö. A., 1894, Nr. 20. — [170] Forel, Die Temperaturverhältnisse des Boden-Sees, Lindau i. B. 1893 (S. V. G. B., XXII), S. 25. — [171] De Agostini, Esplor. idrogr. etc., S. 8 ff., 13. — [172] O. Marinelli, Nuove osservazioni sulle condizioni di temperatura del lago di Cavazzo, Rom 1894. — [173] Ule, a. a. O., S. 555 ff. — [174] Supan, Grundzüge etc., S. 259. — [175] Hergesell, Beobachtungen über die Lage der Sprungschicht der Temperatur im Weissen See bei Urbeis, G. A. E. L., II, S. 385 ff. — [176] Forel, Températures lacustres, A. s. p. n., 1880, S. 1 ff. — [177] Forel, Le Léman, II, S. 344 ff.; La congélation des lacs suissés en 1881, A. s. p. n., 1892, S. 91 ff. — [178] E. Richter, Seestudien, S. 48 ff. — [179] Ebenda, S. 51. — [180] Forel, La congélation des lacs suisses et savoyards 1879/80, E. As., 1880, Nr. 2—3; Deux types de congélation des eaux, A. s. p. n., 1892, S. 352 ff. — [181] A. Geistbeck, Die Temperatur etc., S. 1007. — [182] J. C. Beer, Die Eisseen im Alpengebiete, D. R. G. St., II, S. 470 ff. — [183] E. Richter, Die Eisseen der Alpen, P. G. M., XXXVII, S. 202 ff. — [184] Delebecque, Sur les changements de la composition de l'eau avec la profondeur, C. R., CXVII, S. 712 ff. — [185] Guthe-H. Wagner, Lehrbuch der Geographie, II, Hannover 1883, S. 403. — [186] G. P. W., VIII, S. 730. — [187] Pallas, Reise durch verschiedene Provinzen des russischen Reiches, St. Petersburg 1771—76, I, S. 299 ff., 406 ff; II, S. 349 ff. — [188] Murchison-Lowe, Uebersicht der neuesten geographischen und geologischen Arbeiten im russischen Reiche, A. K. R., IV, S. 331 ff. — [189] Andrussow, Der Adschi-Daya oder Karabugas-Busen, P. G. M., XLIII, S. 25 ff. — [190] Sven Hedin, Die Wanderung des Lop-nor-Beckens in neuester Zeit, P. G. M., XLII, S. 201 ff. — [191] H. Schlagintweit, Ueber die Salzseen des westlichen Tibet, J. G. G. M., II, S. 34 ff. — [192] Harnisch, Afghanistan in seiner Bedeutung für den Völkerverkehr, Z. w. G., VIII, S. 344. — [193] Ainsworth, La fontaine-cratère du Nemrod Dagh, S. S. G., 1895, S. 203 ff. — [194] R. Oberhummer-Zimmerer, Durch Syrien und Kleinasien; Reiseschilderungen und Studien, Berlin 1899, S. 228. — [195] Lynch, Narrative of the United States Expedition to explore the Jordan and the Dead Sea, Philadelphia 1849; deutsch, Leipzig 1850. — [196] Supan, a. a. O., S. 543. — [197] H. J. Klein, Die Gesetze der Wüstenbildung, G., XIII, S. 723. — [198] Reiter, Die Kalahara, Z. w. G, V, S. 111 ff. — [199] v. Uechtritz, Reisen in Südwestafrika, V. G. E. B., XXII, S. 177. — [200] F. Hahn, Die Horn-Expedition in Zentralaustralien und ihre geographischen Ergebnisse, P. G. M., XLIV, S. 7 ff. — [201] Philippi, Reise durch die Wüste Atacama, Halle a. d. S. 1860, a. v. St. — [202] Felix-Lenk, Ueber die tektonischen Verhältnisse der Republik Mexiko, Z. d. G. G., XLIV, S. 303 ff. — [203] Annual Report of the U. S. Geological Survey, VIII, Washington 1889. — [204] Kn. Z., 1892, Nr. 4. — [205] C. C., 1895, 1, S. 659 ff.; K. J., VI, S. 276 ff. — [206] v. Fritsch, Allg. Geol., S. 226 ff. — [207] Ebenda, S. 253 ff. — [208] Rosenberger, Geschichte der Physik in Grundzügen, III, Braunschweig 1887—90, S. 630 ff. — [209] Varenius-Newton, Geographia generalis, Cambridge 1672, S. 245 ff. — [210] G. P. W., VIII, S. 233 ff. — [211] Supan, S. 547 ff. — [212] Penck, Morph. etc., II, S. 7 ff. — [213] Junker, Reisen in Zentralafrika, I, P. G. M., E. H. Nr. 92, S. 19 ff. — [214] E. Wolf, Quer durch Madagaskar, B. Tb., 18. April 1895. — [215] E. H. L. Krause, Grenze zwischen Wald und Sumpffeld, Gl., LXIX, S. 232. — [216] Kiepert, Ueber die Resultate von Livingstones letzten Reisen, V. G. E. B., II, S. 65. — [217] A. C. Brehm, Vom Nordpol zum Aequator, Stuttgart-Berlin-Leipzig 1890, S. 27. — [218] Drude, Bericht über die Fortschritte der Geographie der Pflanzen, W. G. J., X, S. 167. — [219] H. J. Klein, An den Nordpol, Kreuznach 1870, S. 19. — [220] Drude, a. a. O., X, S. 159. — [221] Brehm, a. a. O., S. 31. — [222] Guthe-Wagner, a. a. O., I, S. 473. — [223] Prony, Des Marais Pontins, Paris 1818. — [224] v. Donat, Le Paludi Pontine, Rom 1886; Ueber die Pontinischen Sümpfe, V. G. E. B., XIX, S. 186 ff. — [225] Ebenda, S. 198. — [226] Senft, Die Humus-, Torf-, Marsch- und Limonitbildungen als Erzeugungsmittel neuer Erdrindelagen, Leipzig 1862. — [227] v. Liebig, Die Andaman-Inseln, J. G. G. M., I, S. 106 ff. — [228] G. Marinelli, La terra, S. 460. — [229] G. P. W., VIII, S. 1235. — [230] Grisebach, Ueber die Bildung des Torfes in den Emsmooren, Göttingen 1845. — [231] Hunaeus, Kurze Darstellung der orographischen, hydrographischen und geognostischen Verhältnisse von Hannover, Hannover 1864. — [232] Salfeld, Die nordwestdeutschen und niederländischen Moore, A., LV, S. 467 ff., 483 ff. — [233] Schacht, Die Moore des Grossherzogtums Oldenburg, P. G. M., XXIX, S. 5 ff. — [234] Geinitz, a. a. O., S. 14 ff. — [235] Jentzsch, Ueber die Moore der Provinz Preussen, S. p. ö. G. K., XIX, S. 91 ff. — [236] Ebenda, S. 94. — [237] Virchow, Das Kehdinger Moor, T. L. J., 1883, S. 83 ff. — [238] Tacke, Die Moore Nordwestdeutschlands, V. 11. D. G., S. 117 ff. — [239] Männel, Die Moore des Erzgebirges und ihre forstwirtschaftliche und nationalökonomische Bedeutung, München 1896. — [240] v. Westenrieder, Beschreibung des churfürstlichen Landgerichtes Dachau, München 1892. — [241] C. Gruber, Die Verdienste L. v. Westenrieders um die bayerische Geographie, J. G. G. M., XIV, S. 113 ff. — [242] v. Schrank, Naturhistorische und ökonomische Briefe über das Donau-Moos, Mannheim 1795. — [243] J. F. Weiss, Südbayerns Oberfläche nach ihrer äusseren Gestalt, München 1820. — [244] A. Vogel, Zur Charakteristik der Hoch- und Wiesenmoore, S. A. M., M. P., 1865, S. 104 ff. — [245] C. Gruber, Die Litteratur über die südbayerischen Moore, J. G. G. M., IX, S. 1 ff. — [246] A Baumann, Die Moore und die Moorkultur in Bayern, München 1894. — [247] C. Gruber, Die Heidelandschaft um München und ihre Entstehung, J. G. G. M., IX, S. 20 ff. — [248] O. Sendtner, Die Vegetationsverhältnisse Bayerns, Bavaria, I, 1, S. 149 ff.; K. Fraas, Beitrag zur Kritik der Vegetationsverhältnisse Bayerns, C. l. V. B., 1852, S. 121 ff. — [249] A. Baumann, a. a. O., S. 18. —

[250] Ebermayer, Warum enthalten die Waldbäume keine Nitrate? B. D. B. G., 1888, S. 217 ff. — [251] C. Gruber, Das Münchener Becken, ein Beitrag zur physikalischen Geographie Südbayerns, Stuttgart 1888. — [252] Petkvošek, Das Laibacher Moor, D. R. G. St., XIX, S. 21 ff. — [253] Filarsky, Die Moore am Fusse der Hohen Tátra, J. u. K. V., 1893, S. 22 ff. — [254] Blink, Nederland en zijne bewoners, II, Amsterdam 1893, S. 515 ff. — [255] Ebenda, II, S. 525. — [256] Ebenda, II, S. 529. — [257] Bieber, Das Mineralmoor der „Soos", geologisch bearbeitet, Marburg a. D. 1867. — [258] Cartellieri, Das Klima und die Heilmittel von Franzensbad, Wien 1870. — [259] N. Krebs, Moorbad Aibling, seine Kurmittel und seine Umgebung, München 1893. — [260] v. Fritsch, a. a. O., S. 222 ff. — [261] Früh, Torf und Dopplerit, Zürich 1883; Bromeis, Ueber den Fichtelit, A. C. Ph., XXXVII, S. 304 ff. — [262] Dau, Ueber die Natur, Entstehung und Wiedererzeugung des Torfes, Leipzig 1723. — [263] v. Chamisso, Ueber den Torf, A. L. H., XI, S. 1 ff. — [264] Lesquereux-Lengerke, Untersuchungen über die Torfmoore im allgemeinen, Berlin 1847. — [265] Clessin, Die Bildung der Torfmoore, G., XII, S. 656 ff. — [266] v. Bodungen, Ueber Moorwirtschaft und Fehnkolonien, Hildesheim 1880. — [267] Blasius, Die Verwendung der Torfstreu, Braunschweig 1884; Fleischer, Die Torfstreu, Bremen 1890. — [268] Supan, S. 548. — [269] Klinge, Ueber Moorausbrüche, B. J. S. P. P., XIV, S. 426 ff. — [270] Der Ausbruch des Torfmoores von New-Rathenow, D. R. G. St., XX, S. 75 ff.; K. J., IX, S. 268 ff.; D. R. G. St., XX, S. 75 ff. — [271] Früh, Moorausbrüche, Gl. LXXII, Nr. 14. — [272] Ule, Das Wasser im Boden, N. G., I, S. 16 ff. — [273] Dupuit, Traité de la conduite et de la distribution des eaux, Paris 1865. — [274] Daubrée, Les eaux souterraines, Paris 1887. — [275] Martins-C. Vogt, Von Spitzbergen zur Sahara, II, Jena 1872, S. 279. — [276] O. Lenz, Ueber die Sáhara, Prag 1889, S. 13. — [277] Schweinfurth, Zur Frage: Woher kommt das Wasser in den Oasen der Sáhara? V. G. E. B., XXI, S. 89. — [278] Schinz, Deutsch-Südwestafrika, Oldenburg-Leipzig 1891. — [279] Lueger, Die Wasserversorgung der Städte, I, Darmstadt 1895, S. 123 ff.; Lexikon der gesamten Technik und ihrer Hilfswissenschaften, V, Stuttgart-Leipzig s. a., S. 2 ff. — [280] Dupuit, a. a. O., S. 53 ff. — [281] Hoefer, Die Ergiebigkeit des Grundwasserstromes, Z. ö. J. A. V., 1892, Nr. 29. — [282] Lueger, Theorie der Bewegung des Grundwassers in den Alluvionen der Flussgebiete, Stuttgart 1885, S. 1 ff. — [283] Cranz, Anwendung der Funktionentheorie auf ein hydrotechnisches Problem, M. N. M. W., III, S. 16 ff. — [284] Thiem, Das Wasserwerk der Stadt Nürnberg, Leipzig 1879, S. 26. — [285] v. Richthofen, S. 116 ff. — [286] v. Sonklar, Der Schwemmkegel von Innsbruck und die Grundwasserverhältnisse desselben, D. R. G. St., V, S. 114 ff. — [287] Thiem, a. a. O., S. 9 ff. — [288] v. Richthofen, S. 119. — [289] Liznar, Ueber die periodischen Aenderungen des Grundwasserstandes, G., XVII, S. 330 ff. — [290] Soyka, Die Schwankungen des Grundwassers mit besonderer Berücksichtigung der mitteleuropäischen Verhältnisse, Wien-Olmütz 1888 (P. G. A., II, 3). — [291] Ebenda, S. 30 ff. — [292] Ebenda, S. 37. — [293] Wollny, Untersuchungen über das Verhalten der atmosphärischen Niederschläge zu Pflanze und Boden, F. A., XIV, S. 335 ff.; Forstlich-meteorologische Beobachtungen, ebenda, XVIII, S. 392 ff. — [294] v. Pettenkofer, Boden und Grundwasser in ihren Beziehungen zu Cholera und Typhus, München 1869; Der Boden und sein Zusammenhang mit der Gesundheit der Menschen, Berlin 1882. — [295] v. Pettenkofer, Ueber die Abnahme der Sterblichkeit an Typhus in der Stadt München, V. ö. G., 1874, S. 233 ff. — [296] F. Beetz, Die Gesundheitsverhältnisse Münchens; ein hygienischer Führer für Einheimische und Fremde, München 1882. — [297] Singer, Die Abminderung der Sterblichkeitsziffer Münchens, Ae. R., 1897, Nr. 47—49. — [298] L. v. Seidel, Ueber den inneren Zusammenhang, welcher zwischen der Häufigkeit der Typhuserkrankungen in München und dem Stande des Grundwassers während der letzten neun Jahre hervortritt, Z. B., I, S. 221 ff.; Vergleichung der Schwankungen der Regenmenge mit der Häufigkeit des Typhus in München, ebenda, II, S. 145 ff. — [299] F. Lindemann, Gedächtnisrede auf Philipp Ludwig v. Seidel, München 1898, S. 16. — [300] München eine gesunde Stadt; zwei Gutachten M. v. Pettenkofers und H. v. Ziemssens, München 1899. — [301] Brückner, Grundwasser und Typhus, M. G. G. H., 1887—88, 3. Heft. — [302] W. Krebs, Von der Meteorologie zur Cholerafrage, A., LXVI, S. 497 ff., 515 ff. — [303] W. Krebs, Grundwasserbeobachtungen im unterelbischen Gebiete, Berlin 1892. — [304] Ule, a. a. O., S. 27 ff. — [305] Ototzkij, Der Einfluss der Wälder auf das Grundwasser, Z. Gw., I, S. 290. — [306] Darcy, Les fontaines publiques de la ville de Dijon, Paris 1856. — [307] Thiem, Die Ergiebigkeit artesischer Bohrungen, Schachtbrunnen und Filtergallerien, J. G. W., 1870, S. 450 ff. — [308] Ochsenius, Ungebrochene Firstenteile, Z. p. G., 1894, S. 242 ff. — [309] H. Haas, Quellenkunde, Leipzig 1895. — [310] Wisotzki, Zeitströmungen in der Geographie, Leipzig 1897, S. 1 ff. — [311] C. Neumann-Partsch, a. a. O., S. 254. — [312] Kretschmer, Die physische Erdkunde des Mittelalters, Wien-Olmütz 1889 (P. G. A., IV, 1), a. v. St. — [313] W. Schmidt, Ueber Dantes Stellung in der Geschichte der Kosmographie, Gratz 1876. — [314] La composizione del mondo di Ristoro d'Arezzo, ed. Narducci, Rom 1859, S. 83. — [315] Varenius, a. a. O., S. 143 ff., 231 ff.; Wisotzki, a. a. O., S. 8 ff. — [316] Kühn, Meditationes de origine fontium et aquae putealis, Bordeaux 1741; deutsch, Danzig-Leipzig-Berlin 1746. — [317] Wisotzki, S. 39 ff. — [318] Ebenda, S. 47. — [319] Palissy, Discours admirable de la nature des eaux et des fontaines tant naturelles qu'artificielles, Paris 1580, S. 31 ff. — [320] Commentarii Collegii Conimbricensis S. J., Lyon 1594, S. 384 ff. — [321] Vitruvius, De architectura, lib. VIII, cap. 1. — [322] Nehring, Die geologischen Anschauungen des Philosophen Seneca, II, Wolfenbüttel 1876, S. 11 ff. — [323] J. Vossius, De Nili et aliorum fluminum origine, Haag 1656, S. 15. — [324] Ebenda, S. 17 ff. — [325] Mariotte, Traité du mouvement des eaux es des autres corps fluides, Paris 1686; Oeuvres, II, Leiden 1717, S. 333 ff. — [326] J. C. Fischer, Geschichte der Naturlehre, II, Göttingen 1802, S. 581 ff. — [327] Claude-Pierre Perrault, Oeuvres diverses de physique et de mécanique, II, Leiden 1721, S. 737 ff.; J. C. Fischer, a. a. O., S. 584 ff. — [328] De la Métherie-Eschenbach, Theorie der Erde, II, Leipzig 1797, S. 261. — [329] C. Lang, Ueber die Porosität einiger Baumaterialien, Z. B., XI, S. 313 ff.; Neue Versuche über das hygroskopische Verhalten von Baumaterialien bei Temperaturen über und unter Null, ebenda, XVI, S. 443 ff. — [330] Gravé, Hydrologische Studien, I, Wien 1887, S. 29 ff. — [331] Haas, a. a. O., S. 15. — [332] Stapff, Les eaux du tunnel du St.-Gothard, Altenburg 1891. — [333] Ebenda, S. 76 ff. — [334] Ebenda, S. 88 ff. — [335] Murray, On the total Annual Rainfall on the Land of the Globe and the Relation of Rainfall to the Annual Discharge of Rivers, Sc. G. M., III, Nr. 2. — [336] Wisotzki, S. 58 ff. — [337] Gassendi, Animadversiones in decimum librum Diogenis Laertii, Leiden 1649, Bl. 1071 ff. — [338] Wisotzki, S. 81 ff. — [339] O. Volger, Die wissenschaftliche Lösung der Wasser-, insbesondere der Quellenfrage, Z. V. d. J., XXI, S. 481 ff. — [340] Halley, On the circulation of the Watry Vapours of the Sea and the Cause of the Springs, P. T., 1691, S. 468 ff. — [341] Mohr, Dr. Otto Volgers neue Theorie des Quellen- und Bodenwassers, G., XIV, S. 578 ff. — [342] Sonntag-Jarz, Beitrag zu Dr. Otto Volgers neuer Quellenlehre, ebenda, XVI, S. 320 ff. — [343] Hann, Bemerkungen über die neuen Quellentheorien, ebenda, XVI, S. 469 ff.; Noch einige Worte über die physikalische Unzulässigkeit der Volgerschen Quellentheorie, ebenda, XVII, S. 83 ff. — [344] Wollny, Kritik zu Volgers Vortrag, F. A., II, S. 51 ff. — [345] Volger, Vorbemerkungen zu einer Würdigung der Quellenlehre des

Aristoteles, Frankfurt a. M. 1877. — [346] Volger, Ueber eine neue Quellentheorie auf meteorologischer Basis, M. Z., IV, S. 388 ff. — [347] Gravé, a. a. O., S. 47 ff.; Supan, S. 365. — [348] Leppla, Ueber das Vorkommen natürlicher Quellen in den pfälzischen Nordvogesen, Z. p. G., 1893, S. 103 ff. — [349] Haas, S. 29 ff. — [350] v. Sonklar, Allg. Orogr., S. 146. — [351] Kämtz, Lehrbuch der Meteorologie, II, Halle a. d. S. 1834, S. 219 ff. — [352] G. P. W., VII, 2, S. 1081 ff. — [353] Wahlenberg, Om springkällors temperatur och växternas förhållande irikets norra och södra provinser, anställde i afsigt att bestämma climatet, Upsala 1812; deutsch, G. A. P., XLI, S. 118 ff.; A. Schlagintweit, Ueber die Temperatur des Bodens und der Quellen in den Alpen, A. P. C., 4. E. B., S. 59 ff. — [354] Hallmann, Die Temperaturverhältnisse der Quellen, Berlin 1854—55. — [355] Daubrée, a. a. O., I, a. v. St. — [356] C. Gruber, Ueber das Quellgebiet und die Entstehung der Isar; orographische und hydrologische Studie aus dem Karwendel, München 1887, S. 37 ff. — [357] Haas, S. 117 ff.; Lersch, Hydrophysik, S. 50 ff. — [358] K. Fuchs, Die vulkanischen Erscheinungen der Erde, Leipzig 1865, S. 534. — [359] Beissel, Der Aachener Sattel und die aus demselben hervorbrechenden Thermalquellen, Aachen 1886, S. 231 ff. — [360] Lersch, a. a. O., S. 42. — [361] Regelmann, Die Quellwasser Württembergs, Stuttgart 1874, S. 125. — [362] Lersch, S. 50 ff. — [363] Pröll, Bad Gastein, Wien 1888; v. Werra, Der Kurort Leukerbad, Luzern 1891. — [364] Haas, S. 123 ff. — [365] Laube, Geologische Exkursionen im böhmischen Thermalgebiete, Leipzig 1884, S. 43 ff. — [366] v. Hauer, Ueber die Katastrophen in Teplitz-Dux, V. G. R., 1879, S. 96 ff. — [367] R. Hoernes, Die Grubenkatastrophe von Zeiring im Jahre 1158, M. N. V. St., 1897, S. 53 ff. — [368] Emsmann, Abbé Paramelle, der Quellenfinder, G., II, S. 136 ff. — [369] Abbé Paramelle-v. Cotta, Quellenkunde, Leipzig 1856. — [370] Daubrée, I, S. 19. — [371] Haas, S. 59. — [372] A. Heim, Die Quellen, Zürich 1885, S. 17. — [373] G. Bischof, Lehrbuch der chemischen und physikalischen Geologie, II, Bonn 1852. — [374] Lersch, Hydrochemie, S. 183 ff. — [375] Haas, S. 128 ff. — [376] F. A. A. Struve, Nachbildung der natürlichen Heilquellen, Dresden-Leipzig 1824—26. — [377] Lyell, Die heissen Quellen mit besonderer Berücksichtigung der Thermen, G., I, S. 510 ff. — [378] Lersch, a. a. O., S. 159. — [379] G. Bischof, a. a. O., II, S. 1129 ff. — [380] Daubrée, II, S. 1 ff. — [381] Lersch, S. 173. — [382] Ebenda, S. 308. — [383] Ebenda, S. 347 ff. — [384] Haas, S. 140. — [385] Lersch, S. 413 ff. — [386] K. J., IX, S. 221. — [387] Haas, S. 143 ff. — [388] Daubrée, II, S. 35 ff. — [389] Osann, Physikalisch-medizinische Darstellung der bekannten Heilquellen Europas, Berlin 1839—43. — [390] Lersch, Einleitung in die Mineralquellenlehre, Erlangen 1852; Geschichte der Balneologie, Hydroskopie und Pegologie, Würzburg 1863. — [391] Ditterich, Klinische Balneologie, München 1867. — [392] Flexig, Leipzig 1889; Die Brunnen- und Badeorte, Seebäder und klimatischen Kurorte Deutschlands, Berlin 1889. — [393] Goldberg, Die natürlichen und künstlichen Mineralwässer, Weimar 1892. — [394] v. Than, Die chemische Konstitution der Mineralwässer und die Vergleichung derselben, M. P. M., 1890, S. 487 ff. — [395] Gintl, Die Bildung der Kohlensäurequellen, G., XXIV, S. 478 ff. — [396] v. Gorup-Besanez, Chemische Untersuchung oberfränkischer Quellen, A. Ch. Ph., LXXIX, S. 50 ff.; Ueber die dolomitischen Quellen des Frankenjura, S. m. p. S. E., 1871, S. 65 ff. — [397] Schwager, Untersuchungen von Quell- und Flusswasser aus dem Fichtelgebirge und dem angrenzenden fränkischen Keupergebiet, G. J., 1892, S. 35 ff. — [398] Ebenda, S. 80. — [399] Metzger, Beiträge zur Kenntnis der hydrographischen Verhältnisse des Bayerischen Waldes, Erlangen 1892, S. 20 ff. — [400] Günther, Luftdruckschwankungen in ihrem Einflusse auf die festen und flüssigen Bestandteile der Erdoberfläche, B. G., II, S. 146 ff. — [401] Scheuchzer-Sulzer, Naturgeschichte des Schweitzerlandes, samt seinen Reisen über die schweitzerischen Gebürge, Zürich 1746, S. 316; Naturhistorie des Schweitzerlandes, II, ebenda 1752, S. 131 ff. — [402] Lyell, Principles of Geology, I, London 1872, S. 49. — [403] Cartheuser, Rudimenta hydrologiae systematicae, Frankfurt a. M. 1758. — [404] Baccius, De thermis libri septem, Padua 1711, S. 123. — [405] Bromeis, Aeussere und innere Verhältnisse der gasreichen Thermen zu Nauheim, A. C. Ph., LXXXI, S. 151 ff. — [406] Cartellieri, Franzensbad in Böhmen, Franzensbad 1887, S. 40. — [407] G. Bischof, a. a. O., I, S. 674. — [408] Henrich, Beitrag zur Theorie der intermittierenden kohlensäurehaltigen Quellen, Z B. H. S., XXVII, S. 199 ff. — [409] Ludmann, Der intermittierende artesische Springbrunnen des Ránk-Herleiner Bades in Oberungarn, P. G. M., XVII, S. 426 ff. — [410] Schmitz, Altes und Neues über Bad Neuenahr, Ahrweiler 1893; v. Oefele, Bad Neuenahr; erdige Therme mit Eisen und Arsen, München 1894; K. J., V, S. 215. — [411] E. Suess, Das Antlitz der Erde, I, Prag-Leipzig 1885, S. 397 ff. — [412] v. Oefele, Die ersten Quellen brennbaren Gases im deutschen Sprachgebiete, A., LXV, S. 455 ff. — [413] G. A. Koch, Die Gasbrunnen von Wels in Oberösterreich, V. G. R., 1892, Nr. 7; 1893, Nr. 5. — [414] G. Müller, Ueber Quellbildungen im nordöstlichen Diluvialgebiete, N. W., X, Nr. 41. — [415] F. Steiner, Ueber die Entstehung der Biliner Mineralquellen, T. B., 1896, S. 132 ff. — [416] v. Lupin, Quellentemperaturen in Oberbayern, S. p. ö. G. K., XXXVIII. — [417] Die intermittierende Mineralquelle zu Hönningen a. Rh., Z. p. G., 1896, S. 221 ff. — [418] C. Neumann-Partsch, a. a. O., S. 342 ff. — [419] Dambegis, Die heissen Quellen von Aedipsos und Gialta, M. P. M., XII, S. 388 ff. — [420] v. Eggers, Die Asphaltquelle am See von Maracaibo, D. G. Bl., XIX, S. 183 ff. — [421] Mitzopulos, Die Pechquellen von Keri auf Zante, P. G. M., XLII, S. 156 ff. — [422] Phinney, The Natural Gas Field of Indiana, A. R. U. S. G. S., XI, S. 579 ff; Bericht von Klittka, Z. p. G., 1894, S. 272 ff. — [423] Phinney, a. a. O., S. 662 ff. — [424] vom Rath, Pennsylvanien; geschichtliche, naturwissenschaftliche und soziale Skizzen, Heidelberg 1888. — [425] Th. Clark, Note on the Examination of Water for Towns for its Hardness, London 1847; A new Process for purifying the Waters supplied to the Metropolis, ebenda 1849. — [426] Boutron-Boudet, Nouvelle méthode pour déterminer les proportions des matières minérales en dissolution dans les eaux de sources et des rivières, Paris 1866. — [427] Fehling, Gewerbechemie (nach dem Französischen von Payen), Stuttgart 1852, S. 283 ff. — [428] J. König, Die Untersuchung landwirtschaftlich und gewerblich wichtiger Stoffe, Berlin 1891, S. 577 ff. — [429] Haas, S. 217 ff. — [430] G. Bischof, I, S. 545 ff. — [431] J. Roth, Allgemeine und chemische Geologie, I, Berlin 1879, S. 534 ff. — [432] Haas, S. 200 ff. — [433] Weed, On the Formation of Siliceous Sinter by the Vegetation of Thermal Springs, A. J. S., (3) XXXVII, S. 351 ff. — [434] F. Cohn, Ueber die Entstehung des Travertin in den Wasserfällen von Tivoli, N. J. M. G. P., 1864, S. 580 ff.; A. S. G. v. K., 1862, II, S. 35 ff. — [435] L. v. Buch, Geognostische Beobachtungen auf einer Reise durch Deutschland und Italien, II, Berlin 1809, S. 21 ff. — [436] Weed, Formation of Travertine and Siliceous Sinter by the Vegetation of Hot Springs, A. R. U. S. G. S., IX. — [437] Uebelacker, Systematische Beschreibung des Carlsbader Sinters, Erlangen 1780. — [438] Stolley, Ueber die Verbreitung der Algen führenden Silurgeschiebe, N. J. M. G. P., 1894, I, S. 109 ff.; Ueber gesteinsbildende Algen und deren Mitwirkung bei der Bildung der skandinavisch-baltischen Silurablagerungen, N. W., XIV, S. 173 ff.; Westhoff, Ueber die Entstehung von Kalkinkrustationen an Süsswasserpflanzen, N. O., XXXV, S. 500 ff. — [439] Munier-Chalmas, Observations sur les Alges calcaires appartenant au groupe de Siphonées verticillées et confondues avec les foraminifères, C. R., LXXXV, S. 814 ff. — [440] Rothpletz, Fossile Kalkalgen aus den Familien der Codiaceen und Corallineen, Z. d. G. G., XLIII, S. 299 ff. — [441] F. Cohn, Ueber Erosion von Kalkgestein durch

Algen, Breslau 1893. — [442] v. Ammon, Die Gegend von München, geologisch geschildert, München 1894, S. 140. — [443] J. Roth, a. a. O., I, S. 584. — [444] Lersch, S. 369 ff. — [445] Haas, S. 216. — [446] F. Roth, Bericht über den merkwürdigen Brunnen von Andesdorf bei Buxtehude, V. 63. N. V., II, S. 169 ff. — [447] Lersch, Hydrophysik, S. 234. — [448] G. P. W., VII, 2, S. 1057. — [449] Ramazzini, De fontium Mutinensium admiranda scaturigine tractatus physicus hydrostaticus, Modena 1691; engl. London 1697; franz. Genf 1717. — [450] De la Métherie-Eschenbach, a. a. O., II, S. 264 ff. — [451] K. J., V, S. 210. — [452] C. C., 1894, I, S. 644; K. J., V, S. 210 ff. — [453] A. v. Humboldt-Loewenberg, Fragmente einer Geologie und Klimatologie Asiens, Berlin 1832, S. 89 ff. — [454] Lersch, a. a. O., S. 236. — [455] Arago-Hankel, Sämtliche Werke, VI, Leipzig 1857, S. 213 ff. — [456] Gambihler-Kugler, Gründliche Anweisung des sichersten, einfachsten und wohlfeilsten Verfahrens beim Bohren von artesischen Brunnen, Nürnberg 1832. — [457] J. A. und A. G. Bruckmann, Vollständige Anleitung zur Anlage, Fertigung und neueren Nutzanwendung der gebohrten oder sogenannten artesischen Brunnen, Heilbronn 1833. — [458] Belgrand, Les travaux souterrains de Paris, III und IV, Paris 1878—82. — [459] Swindell-Burnell, Rudimentary Treatise on Wells and Well Sinking, London 1886. — [460] Lueger, Lexikon etc., I, S. 461 ff. — [461] Martins-C. Vogt, a. a. O., II, S. 296 ff. — [462] Daubrée, II, S. 156 ff. — [463] Jentzsch, Ueber den artesischen Brunnen in Schneidemühl, Z. p. G., 1893, S. 347 ff. — [464] Stapff, Ein paar Worte über Bodentemperatur und artesische Strömung, ebenda 1893, S. 381 ff. — [465] Keilhack, Das Brunnenunglück in Schneidemühl, Pr., V, S. 148 ff. — [466] Fournet, Études pour servir à la géographie physique et géologie d'une partie du bassin du Rhône, A. S. A. L., 1830, S. 1 ff.; Hydrographie souterraine, M. A. L., 1858, S. 221 ff. — [467] Eichwald, Die Grauwackenschichten von Liv- und Esthland, B. S. N. M., XXVII, S. 3 ff. — [468] v. Nordenskilöd, Grönland; seine Eiswüsten im Inneren und seine Ostküste, Leipzig 1886, S. 135. — [469] Viallon, Traité d'un nouveau moyen pour élever les eaux, Paris 1798. — [470] Eytelwein, Beschreibung und Abbildung des hydraulischen Widders, Leipzig 1806. — [471] Montgolfier-Argand, Note sur le belier hydraulique, J. M., XIII, S. 42 ff.; Lommel, Lexikon der Physik und Meteorologie, Leipzig 1882, S. 313. — [472] Günther, Geophysikalische Betrachtungen über das Stauungsphänomen und über Naturfontänen, N. O., XXXV, S. 11 ff. — [473] Lersch, S. 101 ff. — [474] Scheuchzer-Sulzer a. a. O., I, S. 340 ff. — [475] Otto, Versuch einer physikalischen Erdbeschreibung, I, Berlin 1800, S. 121; G. P. W., VII, 2, S. 1069 ff.; Haas, S. 81 ff. — [476] Streng, Der Bauerngraben oder Hungersee; ein Beitrag zur physikalischen Geographie des Harzes, P. G. M., X, S. 43 ff. — [477] Marischler, Das Ergebnis der Teplitzer Tiefbohrungen, Teplitz 1894. — [478] K. J., IV, S. 212. — [479] Desor, Les sources du Jura, R. Ss., XXI, S. 15. — [480] Rouvier, La fontaine de Vaucluse, Montpellier 1879. — [481] Martins-C. Vogt, II, S. 102. — [482] Haas, S. 35. — [483] Plinius, Historia naturalis, lib. III, cap. 22. — [484] Strabon, Geographica, lib. VI, cap. 3. — [485] Jameson, On a curious Phenomen observed in the Island of Cephalonia and on the proximate Causes of Earthquakes, E. N. P. J., XX. S. 116 ff. — [486] Mousson, Ein Besuch auf Korfu und Kephalonia im September 1858, Zürich 1858, S. 40 ff. — [487] Unger, Wissenschaftliche Ergebnisse einer Reise in Griechenland und den Jonischen Inseln, Wien 1862. — [488] Ansted, On some Curiosities of the Physical Geography of the Jonian Islands, R. B. A., 1893, S. 133 ff. — [489] Fouqué, Rapport sur les tremblements de terre de Céphalonie et de Mételin en 1868, R. M. Sc., IV, S. 478 ff. — [490] K. W. M. und W. Wiebel, Die Insel Kephalonia und die Meermühlen von Argostoli; Versuch einer Lösung dieses geophysikalischen Rätsels, Hamburg 1873. — [491] J. Partsch, Kephalonia und Ithaka; eine geographische Monographie, P. G. M., E. H. Nr. 98, S. 22 ff. — [492] Wiebel, a. a. O., S. 116. — [493] Mousson, a. a. O., S. 83 ff. — [494] Wiebel, S. 121 ff. — [495] Rosenberger, a. a. O., S. 644 ff. — [496] Hawksbee, An Experiment to shaw the Cause of the Descent of the Mercury in the Barometer in a Storm, P. T., 1704, S. 1629 ff. — [497] D. Bernoulli, Hydrodynamica seu de viribus et motibus fluidorum commentarii, Strassburg i. E. 1738, S. 276 ff. — [498] Magnus, Ueber die Bewegung der Flüssigkeiten, A. B. A., P., 1835, S. 135 ff. — [499] v. Feilitzsch, Ueber den Ausfluss von Flüssigkeiten aus Oeffnungen in dünnen Wänden, A. P. C., LXIII, S. 215 ff. — [500] Partsch, a. a. O., S. 24. — [501] Cvijić, a. a. O., S. 101 ff. — [502] Lorenz v. Liburnau, Der Vrana-See auf Cherso, P. G. M., V, S. 510 ff.; VI, S. 154 ff. — [503] Philippson, Der Peloponnes, II, S. 513. — [504] Lorenz v. Liburnau, Die physikalischen Verhältnisse und die Organismenverteilung im Quarnero-Golfe, Wien 1863, a. v. St. — [505] Tietze, Der geologische Bau der österreichischen Küstenländer, M. W. C. W., A. B., VI, S. 34. — [506] G. P. W., VII, 2, S. 1047. — [507] O. Lang, Die Höhenlage warmer Quellen, G., XXIII, S. 340 ff. — [508] Ebenda, S. 544 ff. — [509] Thoroddsen-A. Gebhardt, Geschichte der isländischen Geographie, I, Leipzig 1897, S. 60. — [510] Ebenda, S. 67. — [511] H. Weber, Die Entwicklung der physikalischen Geographie der Nordpolarländer bis auf Cooks Zeiten, München 1898 (M. G. St., IV), S. 215 ff. — [512] Ebenda, S. 228 ff. — [513] Olafsen-Povelsen, Reisen nach Island, deutsch von Geuss, II, Kopenhagen 1775, S. 10 ff., 147 ff. — [514] Mackenzie, Travels in Iceland, London 1811; deutsch Weimar 1815. — [515] Henderson, Iceland, London 1818; deutsch Berlin 1820. — [516] J. Barrow, A Visit to Iceland, London 1835. — [517] Bunsen, Schreiben an Berzelius über eine Reise nach Island, Marburg i. H. 1846. — [518] Sartorius von Waltershausen, Physikalisch-geographische Skizze von Island, Göttingen 1847. — [519] Ebel, Geographische Naturkunde von Island, Königsberg i. Pr. 1850. — [520] J. Winkler, Island, seine Bewohner, Landesbildung und vulkanische Natur, Braunschweig 1861. — [521] Preyer-Zirkel, Reise nach Island im Sommer 1860, Leipzig 1862. — [522] Coles, Summer Travelling in Iceland, London 1882. — [523] Thoroddsen, Islands' Beskrivelse, Christiania 1883. — [524] Barrow, a. a. O., S. 178 ff. — [525] G. P. W., IX, 3, S. 2348. — [526] Klaproth, Beiträge zur chemischen Kenntnis der Mineralkörper, II, Berlin-Stettin 1798, S. 99. — [527] v. Hochstetter, Neu-Seeland, Stuttgart 1863, S. 251 ff. — [528] Chapman, The Natural Wonders of New Zealand, Auckland 1892. — [529] Malfroy, On Geysir-Action of Rotorua, T. N. Z. J., 1891, S. 579 ff. — [530] Haast, Geology of the Provinces of Canterbury and Westland, New Zealand, London 1879. — [531] C. Vogt, Gelegentlich v. Hochstetters Geologie Neu-Seelands, G., II, S. 74. — [532] Hayden, Preliminary Rapport of the U. S. Geological Survey of Montana, Washington 1872; Holmes-Peale, Yellowstone National Park, XII. Annual Rapport of the U. S. Geological and Geographical Survey of the Territories, for 1878, Washington 1883, S. 63 ff. — [533] v. Zittel, Das Wunderland von Yellowstone, Berlin 1875. — [534] Toula, Der Yellowstone-Nationalpark, Wien 1887 (S. V. V. n. K., XXVII). — [535] J. Hirschberg, Von New York nach San Francisco, Leipzig 1888, S. 77 ff. — [536] W. Meyer, Das Wunderland der Neuen Welt, Berlin 1894, S. 35 ff. — [537] Official Guide to the National Park, St. Paul (Minn.) 1889. — [538] Hirschberg, a. a. O., S. 89 ff. — [539] Peschel-Leipoldt, Physische Erdkunde, II, Leipzig 1885, S. 329. — [540] Andreae, Ueber den Yellowstone-Nationalpark, J. V. G. St. F., LVII—LIX, S. 9 ff. — [541] Diener, Ueber das Anseifen der Geyser im Yellowstone-Nationalparke, P. G. M., XXXVIII, S. 92 ff.; G., XXVIII, S. 421 ff. — [542] O. Kuntze, Ueber Geyser und nebenan entstehende verkieselte Bäume, A., LIII, S. 669 ff., 684 ff. — [543] Rothpletz, Ueber die Verkieselung aufrecht stehender Baumstämme durch die Geyser des Yellowstone-Parkes, ebenda, LXV, S. 132 ff. — [544] Pasig, Der „ver-

steinerte Wald"; ein Reisebild aus der arabischen Wüste, ebenda, LXV, S. 145 ff. — [545] Dollfus-De Montserrat, Voyage géologique dans les républiques de Guatemala et de San Salvador, Paris 1868, S. 361 ff. — [546] Sapper, Ueber die Infieruillas von Chinameca, Z. d. G. G., XLVIII, S. 906 ff. — [547] O. Lang, Ueber die Bedingungen der Geysir, G. G. N., 1880, S. 225 ff. — [548] Mackenzie, a. a. O., deutsche Ausg., S. 289 ff. — [549] Krug von Nidda, Geognostische Darstellung der Insel Island, K. A. B. H., VII, S. 421 ff.; Ueber die Mineralien auf Island, ebenda, IX, S. 247 ff. — [550] Lang, a. a. O., S. 278. — [551] Bunsen, Physikalische Beobachtungen über die hauptsächlichsten Geysire Islands, G. P. W., LXXII, S. 159 ff. — [552] Ebenda, S. 166 ff. — [553] Ebenda, S. 169. — [554] Zoeppritz, Die Fortschritte etc., S. 35. — [555] Comstock, The Yellowstone National Park, Am. N., 1874, S. 65 ff., 155 ff.; On some unexplained Phenomena in the Geysir Basins of the Yellowstone National Park, P. A. A., 1876, S. 235 ff. — [556] Lang, S. 239. — [557] Ebert, Versuche mit dem G. Wiedemannschen Geysirapparate, A. P. C., (2) LXIII, S. 342 ff. — [558] J. Müller, Lehrbuch der kosmischen Physik, Braunschweig 1875, S. 580. — [559] Treutlein, Bericht über die Thätigkeit der mathematischen und naturwissenschaftlichen Sektion der 36. Versammlung deutscher Philologen und Schulmänner, Z. m. n. U., XIV, S. 78. — [560] G. Wiedemann, Ueber einen Apparat zur Darstellung der Erscheinungen der Geysirs, A. P. C., (2) XV, S. 173 ff. — [561] J. Petersen, Darstellung der Geysererscheinungen, N. J. M. G. P., 1879, II, S. 65 ff. — [562] Andreae, Ueber eine künstliche Nachbildung der Geysirphänomene, ebenda, 1893, II, S. 1 ff. — [563] Ebert, a. a. O., S. 346 ff. — [564] Ebert, Ein Vorlesungsversuch aus dem Gebiete der physikalischen Geographie, A. P. C., (2) XLI, S. 351 ff. — [565] Wellmann, Bemerkungen über die Entstehung der Mondkrater, A. N., CXLII, Sp. 355 ff. — [566] A. Heim, Quellerträge in Schächten und deren Bestimmung, V. N. G. Z., XLII, S. 112 ff. — [567] Knett, Verhalten der Karlsbader Thermen während des vogtländisch-westböhmischen Erdbebens im Oktober-November 1897, S. A. W., M. N., 10. Juni 1898. — [568] Penck, Die Flusskunde als ein Zweig der physikalischen Geographie, Z. Gw., I, S. 1 ff. — [569] Penck, Morph. etc., I, S. 267. — [570] Michow, Das Bekanntwerden Russlands in vor-Herbersteinscher Zeit, ein Kampf zwischen Autorität und Wahrheit, V. 5. D. G., S. 119 ff. — [571] Aristoteles; De coelo Argiropilo interprete; De generatione Nypho interprete; Meteororum Boetio interprete; adjectis J. Eckii commentariis, Augsburg 1519, fol. XCIV, 2. — [572] Peschel-Ruge, Geschichte der Erdkunde bis auf C. Ritter und A. v. Humboldt, München 1877, S. 151 ff. — [573] Zimmerer, Hans Sachs und sein Gedicht von den 110 Flüssen des deutschen Landes (1559), J. G. G. M., XVII, S. 49. — [574] Varenius-Newton, S. 260 ff. — [575] G. P. W., VIII, S. 1173 ff. — [576] Beardmore, Manual of Hydrology, London 1872. — [577] G. Hagen, Handbuch der Wasserbaukunst, III, Berlin 1878—81. — [578] Franzius-Sonne, Der Wasserbau, III, Leipzig 1884. — [579] Harder, Die Theorie der Bewegung des Wassers in Flüssen und Kanälen, Hamburg 1878. — [580] Penck, Die Flusskunde, S. 8. — [581] Penck, Morph., I, S. 265. — [582] O. Baumann, Durch Massailand zur Nilquelle, Berlin 1894, S. 148 ff. — [583] C. Gruber, Ueber das Quellgebiet etc., S. 39 ff. — [584] Camerlander, Das Quellgebiet der Oder, M. G. G. W., 1892, S. 1 ff. — [585] Boussinesq, Essai sur la théorie des eaux courantes, M. p. d. s., XXIII, S. 165 ff. — [586] Günther, Topographische Studien zur Gestaltung der Flussläufe, N. G., I, Nr. 1. — [587] Peschel, Neue Probl., etc., S. 141 ff.; Peschel-Leipoldt, II, S. 472 ff. — [588] De Agostini, Il lago d'Orta, Turin 1895. — [589] De la Noë-De Margerie, Les formes du terrain, Paris 1888, S. 116. — [590] Wisotzki, Hauptfluss und Nebenfluss; Versuch einer begrifflichen Nachbildung derselben, Stettin 1889. — [591] Ebenda, S. 91 ff. — [592] Ebenda, S. 136. — [593] Penck, Die Etsch, Z. d. ö. A., XXVI, S. 6. — [594] Bludau, Areale der aussereuropäischen Stromgebiete, P. G. M., XLIII, S. 96 ff.; 194 ff., 237 ff.; XLIV, S. 107 ff.; Die Areale der europäischen Stromgebiete, ebenda, XLIV, S. 185 ff. — [595] Regelmann, Flächeninhalt der Flussgebiete Württembergs, W. J., St. L., 1883, S. B., S. 3 ff.; Hydrographische Uebersichtskarte des Königreiches Württemberg, Stuttgart 1891. — [596] Die Stromgebiete des Deutschen Reiches, hydrographisch und orographisch beschrieben, St. D. R., (2) XXXIX. — [597] A. E. Forster, Neue hydrographische Karten von Süddeutschland, A., LXV, S. 433 ff.; LXVI, S. 542 ff. — [598] Regelmann, Hydrographische Durchlässigkeitskarte, Gewässer- und Höhenkarte und geognostische Uebersichtskarte von Württemberg, Stuttgart 1893. — [599] Strelbitzky, La superficie de l'Europe, St. Petersburg 1882. — [600] Murray, Drainage Areas of the Continents and their Relations to Oceane Deposits, Sc. G. M., II, S. 548 ff. — [601] v. Klöden, Annähernde Angaben der Länge von 376 Strömen und Flüssen und Grösse ihrer Stromgebiete, Z. G. E. B., XX, S. 397 ff. — [602] v. Tillo, Die grössten Flüsse der Erde, P. G. M., XXXIII, S. 25, 87. — [603] v. Klöden, General Tillos Messung der Länge der grösseren Flüsse in Russland, Z. G. E. B., XX, S. 253 ff. — [604] Torres, Campos, Nuestros rios, B. S. G. M., XXXVII, S. 10. — [605] Imbeaux, Essai-programme, d'Hydrologie, Z. Gw., I, S. 71. — [606] Stecher, Darstellung der Flächen von Flussammelgebieten, C. Bw., 1886, S. 70 ff. — [607] Penck, I, S. 264. — [608] Chavanne, Afrikas Ströme und Flüsse; ein Beitrag zur Hydrographie des dunklen Erdteiles, Wien-Pest-Leipzig 1882. — [609] v. Sonklar, a. a. O., S. 147 ff. — [610] Haase, Flüsse und Flussläufe, P. G. M., XXXVII, S. 49 ff. — [611] Penck, I, S. 341. — [612] Davis-Snyder, Physical Geography, Boston-London 1898, S. 127 ff. — [613] G. P. W., VIII, S. 1196 ff. — [614] Gibson, Great Waterfalls, Cataracts and Geysers, London 1887; Wetsch, Die tiefsten Wasserfälle, ein Seitenstück zu den höchsten Bauwerken, Z. m. n. U., XVIII, S. 557. — [615] Hoelzels Geographische Charakterbilder für Schule und Haus, 2. Supplement, II (mit Text von Penck), Wien 1893. — [616] Pennesi, La Cascata delle Marmore, R. Gi., 1893, S. 145 ff.; Vergilius, Aeneïde, lib. VII, v. 563. — [617] Meyers Deutsche Alpen, ed. Frischauf, III, Leipzig 1887, S. 301 ff. — [618] Nielsen, a. a. O., S. 141. — [619] Ebenda S. 237. — [620] Ebenda, S. 188. — [621] G. P. W., VIII, S. 1200. — [622] Beiträge zur Länder- und Völkerkunde, IV, S. 248. — [623] Pfaff, a. a. O., S. 130 ff. — [624] Pechuel-Lösche, Der Oberlauf des Kongo, V. 2, D. G., S. 19. — [625] Ein Wasserfall ersten Ranges in Britisch-Guayana, P. G. M., XVII, S. 279 ff. — [626] Hollay, Niagara; its History and Geology. Buffalo 1893. — [627] Notes, N., XVII, S. 109. — [628] A. und E. Heim, Töne der Wasserfälle, V. S. N. G., 1874, S. 209 ff. — [629] Martel, La couleur bleue des eaux de sources et des cavernes, Sp., II, S. 48. — [630] A. v. Humboldt, Werke, XI (Ansichten der Natur), S. 127 ff. — [631] Müntz-Marcano, Sur les eaux noires des regions équatoriales, R. R., CVII, S. 908 ff. — [632] Schwager, Untersuchungen etc., S. 41. — [633] Wisotzki, a. a. O., S. 75. — [634] v. Wiebeking, Von der Natur und den Eigenschaften der Flüsse, Stuttgart 1834, S. 11. — [635] S. Ruge, Geschichte des Zeitalters der Entdeckungen, Berlin 1881, S. 455 ff.; Oviedo, Hist. Gener., Madrid 1845, IV, lib. 49. — [636] Weitbrecht, De mutationibus caloris et frigoris aquae fluentis, C. A. P., VII, S. 235 ff. — [637] Hertzer, Ueber die Temperatur der Flüsse, Wernigerode 1865. — [638] W. Dove, Ueber die Wärme der Flüsse, Z. a. E., (2) III, S. 522 ff. — [639] Fournet, Thermométric des cours d'eau, A. S. A. L., 1866, S. 101 ff. — [640] Rankine, On the Causes of the Excess of the mean Temperature of Rivers, R. B. A., 1852, S. 30 ff. — [641] Ph. Keller, Sull' aumento di temperatura prodotto dalla caduta d'acqua, A. R. A. L., 1884/85, S. 671 ff. — [642] A. E. Forster, Die Temperatur fliessender Gewässer Mitteleuropas, Wien 1894 (P. G. A., V, 4). —

[643] Ebenda, S. 6 ff. — [644] Ebenda, S. 68 ff. — [645] Engelbreit, Die Instrumente der höheren und niederen Geodäsie und der Hydrometrie, Nürnberg 1852. — [646] Hunaeus, Die geometrischen Instrumente, Hannover 1868. — [647] v. Bauernfeind, Elemente der Vermessungskunde, I, Stuttgart 1879, S. 518 ff. — [648] G. P. W., VIII, S. 1179 ff. — [649] Pitot, Description d'une machine pour mesurer la vitesse des eaux courantes et le sillage des vaisseaux, M. P., 1732, S. 363 ff. — [650] Guglielmini, Aquarum fluentium mensura nova methodo inquisita, Bologna 1690—91. — [651] Zendrini, Considerazioni sopra la storia naturale dell' acque correnti, Ferrara 1717. — [652] Manfredi, Raccolta di autori che trattano del moto delle acque, II, Florenz 1723, S. 370 ff. — [653] Michelotti, Sperimenti idraulici diretti principalmente a conformare la teorica e faciliatare la pratica del misurare le acque correnti, Turin 1767. — [654] Lecchi, Memorie idrostatiche, Modena 1775. — [655] v. Bauernfeind, a. a. O., I, S. 524 ff. — [656] G. P. W., VIII, S. 1189; A. C. P., XLVI, S. 87 ff. — [657] Ximenez, Nuove sperienze idrauliche fatte ne' canali e ne' fiumi per verificare le principale leggi e fenomini delle acque correnti, Siena 1780. — [658] Brünning-v. Kröncke, Abhandlung über die Geschwindigkeit des fliessenden Wassers und von den Mitteln, dieselbe auf allen Tiefen zu bestimmen, Frankfurt a. M. 1798. — [659] Woltmann, Theorie und Gebrauch des hydrometrischen Flügels, Hamburg 1790; 2. Aufl. Leipzig 1835. — [660] Eytelwein, Von der Bestimmung der Wassermenge eines Stromes, J. r. a. M., I, S. 5 ff. — [661] M. Schmidt, Der hydrometrische Flügel von Th. Ertel und Sohn, München 1895; Umlaufswerte von Wassermessungsflügeln, C. Bw., 1898, S. 126 ff. — [662] v. Bauernfeind, S. 567 ff. — [663] Harlacher, Die Messungen in der Elbe und Donau und die hydrometrischen Apparate und Methoden des Verfassers, Leipzig 1881. — [664] Poncelet-Lebros, Sur quelques phénomènes produits à la surface des fluides en repos ou en mouvement par la présence des corps solides, A. C. P., XLVI, S. 19 ff. — [665] A. Frank, Hydrometrische Röhre, D. Bz., 1888, S. 609 ff. — [666] Hennert, Versuch einer Theorie über die mittlere Geschwindigkeit des Wassers in Flüssen, A. r. a. M., I, S. 1 ff., 129 ff. — [667] v. Wiebeking, Vorschläge zur Verbesserung des Wasserbaus, Darmstadt 1796; Theoretisch-praktische Wasserbaukunst, München 1811—1817. — [668] Eytelwein, Praktische Anleitung zur Wasserbaukunst, Berlin 1802 bis 1808; Michelottis hydraulische Versuche, deutsch mit Anmerkungen, ebenda 1811. — [669] Prony, Résumé de la théorie et des formules relatives au mouvement de l'eau dans les tryaux et les canaux, Paris 1825. — [670] G. H. L. Hagen, Handbuch der Wasserbaukunst, Königsberg i. Pr. 1853—57. — [671] De Bordes-Hojel-van den Berg, Het leven en de werken van den General-Major D. J. Delprat, overgedrukt at het Tijdskrift van het kon. Institut van Ingenieurs, 1882—1883, S. 15 ff., 20 ff., 23 ff., 30 ff. — [672] Weisbach, Untersuchungen im Gebiete der Mechanik und Hydraulik, Freiberg 1842—1843; Die Experimentalhydraulik, ebenda 1855. — [673] Abbot-Humphreys, Report on the Physics and Hydraulics of the Mississippi River, Philadelphia 1861; Theorie und Bewegung des Wassers in Flüssen und Kanälen, deutsch von Grebenau, München 1867. — [674] Belgrand, La Seine; régime de la pluie, des sources, des eaux courantes, Paris 1873. — [675] Gordon, Report on the Irawadi River, Rangoon 1879. — [676] Cunningham, Roorkee Hydraulic Experiments, Roorkee 1881. — [677] Honsell, Beiträge zur Hydrographie des Grossherzogtums Baden, III, Karlsruhe 1885, S 24 ff.; V. 7. D. G., S. 33 ff.; Der Rheinstrom und seine wichtigsten Nebenflüsse von den Quellen bis zum Austritte des Stromes aus dem Deutschen Reiche, Berlin 1889. — [678] Treutlein, Die neuen deutschen Rheinstromstudien und ihre Ergebnisse. A., LXVI, S. 8 ff., 21 ff., 161 ff., 180 ff., 202 ff., 214 ff., 263 ff., 276 ff., 788 ff., 807 ff. — [679] Der Oderstrom, sein Stromgebiet und seine wichtigsten Nebenflüsse; eine hydrographische, wasserwirtschaftliche und wasserrechtliche Darstellung, Berlin 1896. — [680] Penck, Der Oderstrom, G. Z., V, S. 19 ff., 84 ff. — [681] G. H. L. Hagen, Ueber die Bewegung des Wassers in Strömen, Berlin 1868. — [682] Penck, Morphol., I, S. 274. — [683] Bazin-Darcy, Expériences hydrauliques, M. p. d. s., XIX, S. 1 ff.; C. R., LVII, S. 192 ff. — [684] Reynolds, An Experimental Investigation of the Circumstances which determine whether the Motion of Water shall be direct or sinuous, P. T., CLXXIV, S. 955 ff. — [685] Harlacher, Hydrographie des Königreiches Böhmen, Prag 1873. — [686] v. Bauernfeind, a. a. O., II, S. 538. — [687] Eytelwein, Vers. d. Bestimm. etc., S. 10. — [688] Grebenau, Die internationale Rheinstrommessung bei Basel, München 1871. — [689] Harlacher-Richter, Mitteilungen über eine einfache Ermittelung der Abflussmenge von Flüssen und über die Vorausbestimmung der Wasserstände, A. Bz., 1886, S. 17 ff., 25 ff. — [690] Ruvarac, Die Abfluss- und Niederschlagsverhältnisse von Böhmen, Wien 1896 (P. G. A., V, 5), S. 21. — [691] Kutter-Gangouillet, Nouvelle formule de jaugeage des cours d'eau, A. P. Chs., 1876, I, S. 72 ff. — [692] Gravelius, Die Geschwindigkeitsformel, Z. Gw., I, S. 196 ff. — [693] Hessle, Die mittlere Geschwindigkeit des Wassers in natürlichen Gewässern, ebenda, II, S. 20 ff. — [694] J. Thomson, On the Flow of Water in Uniform Regime in Rivers and other Open Channels, P. R. S., 1878, S. 114 ff. — [695] Reynolds, The Motion of Water, N., XXVIII, S. 627. — [696] M. Möller, Studien über die Bewegung des Wassers in Flüssen, Z. Bw., 1883, S. 193 ff.; Ueber Wasserbewegung im Strome und Gestaltung der Flussohle, Z. d. J. A., XXXVI, S. 455 ff. — [697] Boussinesq, a. a. O., S. 8 ff. — [698] Penck, Das Endziel der Erosion und Denudation, V. VIII. D. G., S. 94; Morphol., I, S. 271. — [699] Weber v. Ebenhof, Technischer Führer auf der Donau in Niederösterreich, Wien 1897, S. 9. — [700] Heinemann, Die Rationaltheorie der Bewegung des Wassers, Hagen 1872, S. 219 ff. — [701] Boussinesq, S. 207 ff. — [702] Ebenda, S. 30 ff. — [703] Peschel-Ruge, S. 769. — [704] Wisotzki, S. 37 ff. — [705] Castelli, Della misura dell' acque correnti, Bologna 1628. — [706] The Literary Works of Lionardo da Vinci, ed. J. P. Richter, I, London, 1883, S. 394. — [707] Claramontius, Opus de universo, Köln 1644, S. 134. — [708] Penck, Morphol., I, S. 261. — [709] Uhle, Ueber die Beziehungen zwischen dem Wasserstande eines Stromes, der Wasserführung desselben und der Niederschlagshöhe im zugehörigen Stromgebiete, M. Z., VI, S. 127 ff. — [710] G. H. L. Hagen, Ueber Veränderung der Wassermenge in den preussischen Strömen, Berlin 1880. — [711] Frejlach, Études sur le Labe, I, Prag 1895. — [712] P. Schreiber, Beiträge zur meteorologischen Hydrologie der Elbe, Leipzig 1897. — [713] Penck, Untersuchungen über Verdunstung und Abfuhr von grösseren Landflächen, Wien 1896 (P. G. A., V, 5). — [714] Schreiber, a. a. O., S. 34. — [715] G. Z., III, S. 419, 542. — [716] Schreiber, Zur Frage der Bestimmung des Abflusses aus Stromgebieten, Z. Gw., II, S. 55 ff. — [717] Ule, Zur Hydrographie der Saale, Stuttgart 1896. — [718] Boussinesq, Théorie de l'écoulement tourbillonnant et tumultueux des liquides dans les lits rectilignes à grande section, I, II, Paris 1897. — [719] Penck, Morph. etc., I, S. 277 ff. — [720] Kreuter-Garbe-A. Koch, Handbuch der Ingenieurwissenschaften, 3. Auflage, III, 2, S. 210 ff. — [721] Du Boys, Le Rhône et les rivières à lit affouilable, A. P. Chs., 1879, II, S. 141 ff. — [722] Umpfenbach, Theorie des Neubaus, der Herstellung und Unterhaltung der Kunststrassen, Berlin 1830, S. 5 ff. — [723] Suchier, Die Bewegung der Geschiebe des Oberrheins, D. Bz., 1883, S. 331 ff. — [724] Kreuter, Beitrag zur Theorie der Geschiebeführung, Z. Gw., I, S. 191 ff. — [725] Ebenda, S. 195. — [726] Dubuat, Principes d'hydraulique et de pyrodynamique, II, Paris 1816, S. 95 ff. — [727] Rein, Ueber Veränderungen der Flussläufe, Stromstrich und Begleiterscheinungen, P. G. M., XLII, S. 129 ff. — [728] Penck, I, S. 284. - [729] Pestalozzi, Die Geschiebebewegung und

das natürliche Gefälle der Gebirgsflüsse, Zürich 1879. — [730] Partiot, Sur les sables de la Loire, A. P. Chs., 1871, I, S. 233 ff. — [731] v. Hochenburger, Ueber Geschiebebewegung und Eintiefung fliessender Gewässer, Leipzig 1886, S. 53 ff. — [732] Daubrée, Recherches expérimentales sur le striage des roches, la formation des sables et les décompositions chimiques par les agents mécaniques, C. R., XLIV, S. 997 ff. — [733] Daubrée, Sur les alluvions anciennes et modernes d'une partie du bassin du Rhin, B. S. Gl., VII, S. 432 ff. — [734] v. Jolly, Ueber die Flussbetten und die Arbeit der Flüsse, J. G. G. M., II, S. 29 ff. — [735] Fugger-K. Kastner, Die Geschiebe der Salzach, Wien 1895. — [736] Ebenda, S. 136. — [737] Guppy, The Banks of the Yang-tse at Hankow, N., XXIII, S. 507 ff.; XXV, S. 584; Mellard Reade, ebenda, XX, S. 559 ff.; XXIII, S. 35. — [738] Untersuchungen über das Wasser der Maas, Ntfr., XVIII, S. 9 ff. — [739] Penck, Die Donau, Wien 1891 (M. V. V. n. K. W., XXXI, 1), S. 21 ff. — [740] Penck, Morphol., I, S. 294 ff. — [741] Katzer, Das Wasser des unteren Amazonas, Prag 1897, S. 21 ff. — [742] v. Pettenkofer, Zum gegenwärtigen Stande der Schwemmfrage in München, M. m. W., 1891, Nr. 45; Zur Selbstreinigung der Flüsse, A. Hg., XII, S. 269 ff. — [743] Schwager, Untersuch. etc., S. 42. — [744] v. Bauernfeind, Hydrotechnische Bemerkungen zur Schwemmkanalisation, B. A. Z., 1893, Nr. 3—4. — [745] J. E. Silberschlag, Ausführliche Abhandlung der Hydrotechnik, Berlin 1772, S. 17. — [746] Bokorny, Ueber die organische Ernährung grüner Pflanzen und ihre Bedeutung in der Natur, Bl. C., XVII, Nr. 1. — [747] Schorler, Die Vegetation der Elbe bei Dresden und ihre Bedeutung für die Selbstreinigung des Stromes, Z. Gw., I, S. 25 ff., 91 ff. — [748] Willemer, Untersuchungen des Wassers der Isar und einiger ihrer Nebenflüsse, B. B. V. L., Nr. 14, S. 77 ff. — [749] Ebenda, S. 96. — [750] Emin Bey, Die Strombarren des Bahr el Djebel, P. G. M., XXV, S. 273 ff. — [751] Marno, Die Sumpfregion des äquatorialen Nilsystemes und deren Grasbarren, ebenda XXVII, S. 419 ff. — [752] Wisotzki, S. 102. — [753] Mauch, Reisen im Inneren von Südafrika, P. G. M., E. H. Nr. 37, S. 45 ff. — [754] C. Sachs, Aus den Llanos, Leipzig 1879, S. 212. — [755] Katzer, A foz do Tapajós e suas relações com a agua subterranea na região de Santarem, Pará 1896. — [756] Casati-v. Reinhardstoettner, Zehn Jahre in Aequatoria und die Rückkehr mit Emin Pascha, I, Bamberg 1891. S. 125 ff. — [757] C. Hahn, Die Wolga, A., LXIII, S. 955. — [758] K. J., III, S. 229 ff. — [759] Draper, Ueber die Frage einer Aenderung des Klimas der östlichen Staaten von Nordamerika, Z. ö. G. M., IX, S. 329 ff. — [760] K. J., III, S. 229; C. R. S. G. P., 1891, S. 438. — [761] v. Haidinger, Bericht über die Eisdecke der Donau in Ungarn im Winter und ihren Bruch im März 1758, D. A. W., M. N., XVIII, S. 1 ff. — [762] C. Fritsch, Die Eisverhältnisse der Donau in Oesterreich ob und unter der Enns und Ungarn in den Jahren 1851—52 und 1860—61, ebenda, XXIII, S. 121 ff.; Die Eisverhältnisse der Donau bei Wien in den Jahren 1853—62, S. A. W., M. N., XLVI, S. 418 ff.; Die Eisverhältnisse der Donau in den Jahren 1862—63 und 1863—64, ebenda, LVII, S. 115 ff.; Die Eisverhältnisse der Donau in den Jahren 1864—65 und 1867—1868, ebenda, LVIII, S. 1014 ff. — [763] Swarowsky, Die Eisverhältnisse der Donau in Bayern und Oesterreich von 1850—90, Wien 1896 (P. G. A., V, 1). — [764] Ebenda, S. 37 ff. — [765] Ebenda, S. 46. — [766] A. Geistbeck, Die Eisverhältnisse der Isar und ihrer Nebenflüsse, J. G. G. M., X, S. 1 ff. — [767] Fänner, Der Eisstoss der Donau, W. ö. J. A. V., XIII, Nr. 34. — [768] A. Heim, Der Eisgang der Sihl in Zürich am 3. Februar 1893, V. N. G. Z., XXXIX, S. 323 ff. — [769] Penck, I, S. 320. — [770] Heim, a. a. O., S. 333. — [771] Lochtin-Kohn, Die jetzige Lage der Amu-Niederung, Z. w. G., I, 237 ff. — [772] Rawlinson, The sixt great Oriental Monarchy, London 1873, S. 5. — [773] Harnisch, a. a. O., S. 342. — [774] Günther, Ueber die physikalischen Bedingungen des Versiegens von Wasserläufen, V. 66. N. V., II, 1, S. 226 ff. — [775] Cranz, Theoretische Ermittelung der Gestalt des Grundwasserspiegels an dem Zusammenflusse zweier Ströme, Stuttgart 1890, Separatabdr. — [776] Soyka, a. a. O., S. 53 ff. — [777] C. Gruber, Der Hachinger Bach und seine Umgebung, J. G. G. M., VI, S. 141 ff. — [778] Knop, Ueber die hydrographischen Beziehungen zwischen der Donau und der Aachquelle im badischen Oberlande, J. M. G. P., 1875, S. 942 ff.; 1878, S. 350 ff. — [779] Piccard, Communications souterraines entre le lac des Brenets et les sources de l'Orbe, A. s. p. n., 1893, S. 446 ff. — [780] Forel-Golliez, Coloration des eaux de l'Orbe, ebenda 1894, S. 311 ff. — [781] Doria, Cenni intorno alle ricerche sulla continuità delle acque del Carso eseguite coll' impiego della fluorescina nel giugno 1891, S. A. Gi., 1893, S. 245 ff. — [782] De Agostini-G. Marinelli, Studi idrografici sul bacino della Polaccia nelle Alpi Apuane, R. Gf., 1894, S. 9 ff.; Commissione per lo studio di un nuovo acquedotto fiorentino, Florenz 1894. — [783] Königs-See und Gollinger Wasserfall, M. d. ö. A., 1896, Nr. 13. — [784] Frischauf, Zur Erforschung der unterirdischen Wasserläufe, ebenda, 1890, Nr. 10. — [785] Forel-Martel, Les expériences à la fluorescéine et la circulation des eaux sous les glaciers, Sp., IV, S. 155 ff. — [786] v. Sonklar, Von den Ueberschwemmungen, enthaltend allgemeine Beschreibung, Chronik der Ueberschwemmungen und Mittel der Abwehr, Wien-Pest-Leipzig 1883. — [787] Ad. Bauer, Antike Ansichten über das Steigen des Nils (historische Untersuchungen, Arn. Schaefer zu seinem 25. Jubiläum gewidmet), Bonn 1882, S. 70 ff. — [788] Js. Vossius, a. a. O., S. 59 ff. — [789] Ebenda, S. 32 ff. — [790] v. Sonklar, S. 26 ff. — [791] Ebenda, S. 39 ff. — [792] H. Credner, Elemente der Geologie, Leipzig 1872, S. 189. — [793] Penck, Morphol., I, S. 267. — [794] Falb, Wetterbriefe; meteorologische Betrachtungen mit besonderer Bezugnahme auf die periodischen Ueberschwemmungen im Jahre 1882, Wien-Pest-Leipzig 1883. — [795] Reis, Die periodische Wiederkehr von Wassernot und Wassermangel im Zusammenhange mit den Sonnenflecken, den Nordlichtern und dem Erdmagnetismus, Leipzig 1883; Die 110jährige Periode der Hochwasser und des allgemeinen Witterungscharakters, H., III, S. 174 ff. — [796] Katzerowsky, Die meteorologischen Aufzeichnungen der Leitmeritzer Stadtschreiber aus den Jahren 1564 bis 1607; ein Beitrag zur Meteorologie Böhmens, Prag 1886; Periodizität der Ueberschwemmungen, ebenda 1886. — [797] Supan, S. 372 ff.; S. Zach, Ueber die periodische Wiederkehr von Hochfluten, Nässen und Dürren, Budweis 1898. — [798] Brückner, Untersuchungen über die tägliche Periode der Wasserführung und die Bewegung von Hochfluten im oberen Rhône, P. G. M., XLI, S. 167 ff. — [799] Honsell, Die Hochwasserkatastrophen am Rhein im November und Dezember 1882, Berlin 1883. — [800] Appelberg, Angaben über die Wassermengen der Flüsse Schwedens, Upsala 1889. — [801] Wondrak, Bewaldung und Hochwasser, Z. d. ö. A., XIV, S. 70 ff. — [802] G. A. Koch, Die Ursachen der Hochwasserkatastrophe in den Südalpen, ebenda, XIV, S. 166 ff. — [803] Demontzey-v. Seckendorff, Studien über die Arbeiten zur Wiederbewaldung und Berasung der Gebirge, Wien 1881. — [804] v. Raesfeldt, Die Wildbachverbauung und Aufforstung in den deutschen Alpen, Z. d. ö. A., XIV, S. 431 ff. — [805] v. Seckendorff, Verbauung der Wildbäche, Aufforstung und Berasung der Gebirgsgründe, Wien 1884. — [806] Pralle, Beitrag zur Bestimmung des durch die Flüsse abgeführten Teiles der Niederschlagsmengen, Z. J. A. V. H., 1877, S. 77 ff. — [807] E. Küster, a. a. O., S. 203 ff. — [808] Bubendey, Die Temperatur des fliessenden Wassers zur Zeit der Ausbildung, A. H. m. M., XXII, S. 1 ff. — [809] Saegert, Schutzmassregeln gegen Ueberschwemmungen, Nn., V, S. 719 ff. — [810] Penck, Die Ueberschwemmungen des Jahres 1888, M. d. ö. A., 1888, Nr. 24. — [811] Graf, Der Kanderdurchstich im Berner Oberland, Sch. R., 1892, II, S. 181 ff. — [812] Die neue Mündung der Weichsel, A. H. m. M., XXIII,

S. 234 ff. — [813] Peschel, N. Probl. etc., S. 141 ff. — [814] Stefanović von Vilovo, Ungarns Stromregulierungen, Wien 1883; Wiener Abendpost, Juni 1879. — [815] Classen, Denkschrift betreffend die Ursachen und Folgen der jähen Ueberschwemmungen und die Mittel zu deren Beseitigung. Ansbach 1876. — [816] Schlichting, Ueber die Mittel, den Ueberschwemmungen unserer Flussläufe vorzubeugen, Vortrag, gehalten im Verein für Fluss- und Kanalschiffahrt am 25. April 1883. — [817] Frauenholz-Garbe, Denkschrift betreffend die bessere Ausnützung des Wassers und die Verhütung der Wasserschäden, München 1883. — [818] Wollny, Die Hochwasserschäden und deren Verhütung in Rücksicht auf die Bodenkultur, Z. l. V. B., LXXIII, S. 554 ff. — [819] Ebenda, S. 561. — [820] A. Heim, Ueber Korrektion von Gebirgswassern, J. S. A., VI, S. 329 ff. — [821] Glaser, Zwei Inschriften über einen Dammbruch von Mârib; ein Beitrag zur Geschichte Arabiens im V. und VI. Jahrhundert n. Chr., M. V. Gt., 1897, 6. Heft. — [822] W. Krebs, Der Dammbruch bei Bouzey und seine natürlichen Bedingungen, Gl., LXVIII, S. 41 ff. — [823] Intze, Ueber den Zweck, die erforderlichen Vorarbeiten und die Bauausführung von Thalsperren im Gebirge, sowie über deren Bedeutung im wirtschaftlichen Leben der Gebirgsbewohner, V. 70. N. V., I, S. 61 ff. — [824] Ebenda, S. 78. — [825] Lueger, Lexikon etc., V, S. 180 ff. — [826] Forchheimer, Die Berechnung ebener und gekrümmter Behälterböden, Berlin 1894. — [827] Ehmann, Die Versorgung der wasserarmen Alb, Stuttgart s. a. — [828] Hirth, Reise nach dem grossen See bei Su-chou, D. G. Bl., VII, S. 280 ff. — [829] Maas, Ueber die Vorausberechnung des Wasserstandes der Ströme, insbesondere des Wasserstandes der Elbe bei Barby, Z. Bw., 1881, S. 25 ff. — [830] Sonne, Ueber Hochwasservorausberechnungen (Hochwasserprognosen), Berlin 1884. — [831] Ebenda, S. 20. — [832] Lueger, Ueber Entstehung und Verlauf von Hochfluten, Wien 1885. — [833] Rykatschew-Gravelius, Der Zusammenhang zwischen Wasserstandsschwankungen und Niederschlag im Gebiete der oberen Wolga; ein Beitrag zur allgemeinen Frage der Hochwasserprognose, Dresden 1897. — [834] Ebenda, S. 32 ff. — [835] Gravelius, Die Häufigkeitskurve, Z. Gw., I, S. 145 ff.; Ueber eine Statistik der Wassermengen in den Hauptflussgebieten Frankreichs, ebenda, I, S. 208 ff. — [836] Kleiber, Studien zur Wasserstandsprognose, ebenda, I, S. 10 ff., S. 129 ff. — [837] Weber v. Ebenhof, Die Etschregulierung in Tirol und Italien, Wien 1892. — [838] P. Lehmann, Die Wildbäche in den Alpen; eine Darstellung ihrer Ursachen, Verheerungen und Bekämpfung als Beitrag zur physischen Geographie, Breslau 1879. — [839] Toula, Ueber Wildbachverheerungen und die Mittel, ihnen vorzubeugen, Wien 1892. — [840] Js. Vossius, a. a. O., S. 18 ff. — [841] v. Zallinger zum Thurn, De causis et remediis inundationum in Tiroli, Innsbruck 1778; Von den Ueberschwemmungen in Tirol, ebenda 1779. — [842] v. Schrank, Sammlung naturhistorischer und physikalischer Aufsätze, Nürnberg 1796. — [843] Fabre, Essai sur la théorie des torrents et des rivières, Paris 1797. — [844] Surell, Étude sur les torrents des Hautes Alpes, Paris 1841; 2. Aufl., besorgt von Chézanne, ebenda 1870—72. — [845] Davis, a. a. O., S. 236. — [846] Toula, a. a. O., S. 95. — [847] Fugger, Die Wildbachverbauung im Obersulzbachthale, Gl., LXVII, S. 63 ff. — [848] Landolt, Die Bäche, Schneelawinen und Steinschläge und die Mittel zur Verminderung der Schädigungen durch dieselben, Zürich 1887.

Kapitel V.

Allgemeine Morphologie der Landoberfläche.

§. 1. **Aufbau und Zerstörung.** In Kap. I, §. 1 dieser Abteilung ist das Endziel der Morphologie zu bestimmen versucht worden. Da jedoch die ganze siebente Abteilung bereits der Charakteristik jener Einwirkungen gewidmet war, welche das Meer gegenüber dem festen Lande äussert, da also die Meeresküste nicht mehr Gegenstand der Betrachtung zu sein braucht, so bleibt für diesen Abschnitt nur noch die — freilich auch noch hinreichend umfangreiche — Morphologie der Landoberfläche (vgl. S. 660) übrig. Bedingt ist deren augenblickliche Gestaltung durch ein Zusammenwirken aufbauender (konstruktiver) und zerstörender (destruktiver) Faktoren, die wir nun im einzelnen kennen zu lernen haben.

Andeutungen über morphologische Fragen kommen, wie der historische Bericht im ersten Bande ausführte, im Altertum und Mittelalter häufig genug vor, aber den ersten Versuch einer mehr zusammenfassenden Darstellung hat (I, S. 14) vor 300 Jahren der Niederländer Stevin gemacht [1]. Unter den zahlreichen Werken, mit denen uns die Neuzeit beschenkt hat, und als deren Hauptgegenstand eben die Lehre von den Formveränderungen der Landoberfläche gelten muss, ragen in unserer deutschen Litteratur diejenigen von v. Richthofen [2], Neumayr [3] und Penck [4] hervor, welch letzteres ja schon durch seinen Titel den angestrebten Zweck ankündigt. Die systematische Durchschaltung

des ungeheuren Stoffes, welche man Penck verdankt, rief begreiflicherweise eine lebhafte Erörterung in der Fachwelt hervor; auch auf dieses Kapitel hat die Pencksche Methodik mehrfach eingewirkt. Unter dem Gesichtspunkte des Lehrbuches ist dann ferner die totale Umarbeitung hervorzuheben, welche Brückner der betreffenden Abteilung des ursprünglich von Hann, v. Hochstetter und Pokorny herausgegebenen Werkes in einem besonderen Bande [5] angedeihen liess. Höchst übersichtlich hat Philippson [6] den um die Mitte der 90er Jahre erreichten Standpunkt unserer Spezialdisziplin zu zeichnen verstanden. Gerade die deutsche Arbeitsthätigkeit auf diesem Gebiete hat die Nachbarländer anregend beeinflusst, so dass Trabucco [7] der didaktischen Sektion des italienischen Geographenkongresses (1895) einen gut motivierten Vorschlag zur Aufnahme der terrestrischen Morphologie in das Lehrprogramm der italienischen Universitäten unterbreiten konnte, der besonders auf die Verhältnisse unseres Landes Bezug nimmt.

Wenn wir den Inhalt dieses Kapitels kurz skizzieren wollen, so müssen wir, anknüpfend an die Ergebnisse von Kap. I, beginnen mit den Agentien, durch welche unsere Erdrinde gebildet wurde. Durch Sedimentation und vulkanische Kräfte wurden die Unebenheiten der Erdoberfläche im Keime geschaffen, aber freilich sahen dieselben anfänglich ganz anders aus, als dies heute der Fall ist, nachdem durch ungezählte Zeiträume die Umbildung im Gange ist. Was letztere anlangt, so haben wir die tektonischen Vorgänge, durch welche Veränderungen grösseren Massstabes eingeleitet wurden, scharf zu trennen von den Vorgängen der Erosion und Denudation (S. 602); die letzteren wirken zwar für gewöhnlich nur im stillen, allein indem ihre Aktion keinen Augenblick rastet, sind sie gleichwohl die gewaltigsten Leistungen hervorzubringen im stande. So stellt sich für unsere Betrachtung folgende Reihenfolge als naturnotwendig dar: Schichtenbau und Gebirgszusammenhang, Tektonik, Gebirgsbildung, Analyse der zerstörenden Kräfte. Alle Einzelprobleme der Morphologie, wie sie uns namentlich das Studium bestimmter geophysikalischer Landschaftsbilder vorlegt, erscheinen dann als Korollare der soeben umschriebenen Hauptabschnitte.

§. 2. **Tektonische Formenlehre.** Unsere erste Pflicht muss es jetzt sein, in der Anschauungsweise und zugleich in der Sprache der modernen Tektonik heimisch zu werden. Beides hat sich allmählich im Laufe dieses Jahrhunderts ausgebildet, und zwar griff die Terminologie gerne auf den Sprachschatz des einzigen Wissenszweiges zurück, welcher sich längst vor der Ausbildung einer wissenschaftlichen Erdkunde mit der inneren Struktur der Erdrinde zu befassen Veranlassung hatte, der Bergbaukunde. Hervorragende Verdienste um die Ausbildung der Tektonik, die wir mit Philippson [8] auch schlechthin als Lehre vom Gebirgsbau bezeichnen dürfen, erwarb sich E. Suess, der einer seine Gedanken vorbereitenden Schrift [9] zehn Jahre später den ersten, hier allein in Betracht kommenden Band [10] seines fundamentalen Werkes folgen liess.

Es versteht sich von selbst, dass alle Lehrbücher der Geologie und physischen Geographie mehr oder weniger eingehend den sozusagen geometrischen, von den bedingenden Ursachen wesentlich noch absehenden Teil der Tektonik abhandeln, für welchen wir die Bezeichnung tektonische Formenlehre vorschlagen möchten. Sehr ausführlich und durch gute Abbildungen gestützt entwickelt z. B. das Werk von Kayser [11] die bezüglichen Lehren. Da die Idiome der wichtigsten Kulturländer es einstweilen nur teilweise zu einer wirklichen Synonymik gebracht haben, so machten sich Heim und De Margerie an die schwierige, aber trefflich von ihnen gelöste Aufgabe [12], genaue Definitionen der einzelnen Formen aufzustellen und die im Deutschen, Englischen und Französischen jeder solchen Form beigelegte Benennung beizugeben. An diesen terminologischen Kodex werden auch wir uns in der Hauptsache zu halten haben.

Wir bedienen uns, um die Hauptgruppen der in der Natur überreichlich vorkommenden Fälle bequemer überblicken zu können, einer elementar-geometri-

schen Hilfsvorstellung, deren Wesen schon bei anderer Gelegenheit [13] darzulegen versucht wurde. Wie erwähnt, waren alle sedimentären Schichten ursprünglich parallelepipedische Massen, begrenzt von parallelen Horizontalebenen. Dieses Verhältnis ist in manchen Gegenden, in deren Bereiche also die tektonischen Kräfte vollständig schlummerten, vollkommen erhalten geblieben; die Schichten haben ihre ursprüngliche Anordnung beibehalten, und die später abgesetzten überlagern die älteren wie die Blätter eines Buches (S. 675). Ein Stück Erdrinde, welches in solcher Weise den ihm einmal verliehenen Charakter dauernd beibehalten hat, können wir mit Suess [14] eine Tafel nennen (Russland). Zumeist jedoch haben die plumpen Klötze, welche nach Ablauf des Wassers von Hause aus die Erdgebirge repräsentierten, die mannigfachsten Störungen oder Dislokationen (I, S. 479) über sich ergehen lassen müssen. Als Regel ist aber erfahrungsgemäss dabei festzuhalten, dass die dislozierenden Kräfte durchweg nur planimetrisch, nicht stereometrisch gleichzeitig gewirkt haben, d. h. Torsionsbewegungen sind nur ganz ausnahmsweise nachgewiesen worden, und wir haben einstweilen das Recht, von ihnen abzusehen. Denken wir uns also einen Schnitt vertikal durch den Gebirgsklotz geführt, der sämtliche Schichtenköpfe (S. 670) enthüllt, so erscheinen die Trennungsflächen in dieser Schnittebene abgebildet durch eine Schar horizontaler, also auch paralleler gerader Linien. Diese Normalform können wir als durch vier charakteristische Eigenschaften bestimmt betrachten, durch Horizontalität, Parallelismus, Gradlinigkeit und Zusammenhang; die erste dieser Qualitäten ist allerdings durch die zweite mit bestimmt, aber es können umgekehrt die Linien sehr wohl parallel verlaufen, ohne horizontal zu sein. Dies vorausgesetzt, lassen sich folgende gesetzmässige Aenderungen des Normalzustandes denken:

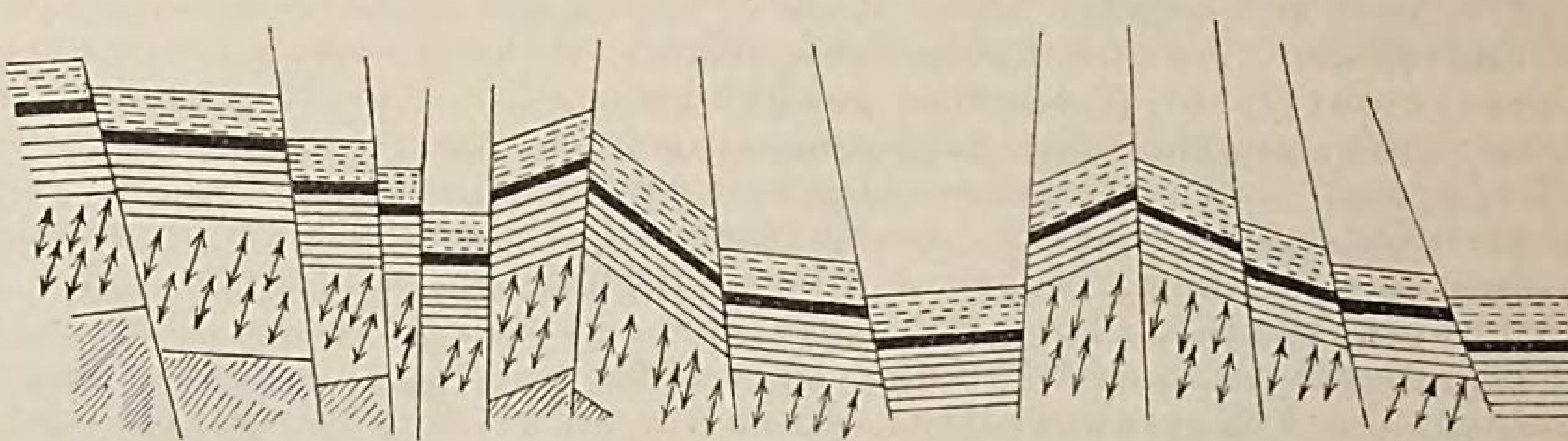
I. Geradlinigkeit, Parallelismus und Zusammenhang bleiben gewahrt, die horizontale Lagerung kommt in Wegfall. II. Geradlinigkeit und Parallelismus bleiben gewahrt; der Zusammenhang wird aufgegeben. III. Parallelismus und Zusammenhang bleiben gewahrt; die Geradlinigkeit wird aufgegeben. IV. Geradlinigkeit und Zusammenhang bleiben gewahrt; der Parallelismus wird aufgegeben. Im Falle I hat einfach eine Drehung der Schichtfolge um eine horizontale Achse stattgefunden; diese Drehung kann 90^0 und auch noch mehr betragen. Fall II entspricht dem, was der Geologe und Montanist Bruch oder Verwerfung (faille, Fault) nennt; Fall III entspricht der Faltung (plissement oder ridement; Folding oder Plication); was aus Fall IV resultiert, ist endlich die sogenannte Fächerstruktur (structure en éventail, Fan-Structure). Nahezu jedes Vorkommnis der geologischen Aufnahmepraxis kann man einer dieser Möglichkeiten unterordnen.

Vorausgesetzt ist hiebei, dass die dislozierte Gebirgsmasse eine homogene war; eine Folge davon ist die konkordante (übereinstimmende) Schichtenlagerung, welcher eine diskordante (nicht übereinstimmende) dann gegenüberstehen kann, wenn nach längerer Unterbrechung des Sedimentationsprozesses ein neuer Niederschlag erfolgt [15]. Es kann auch vorkommen, dass die Unterlage verworfen oder gefaltet ist, während die später abgelagerte Decke das Gepräge eines ungestörten Absatzes der Schichten an sich trägt; so schildert Eldridge [16] die archaeischen Schichtenfolgen der Montana- und Denver-Lagen, wie sie stellenweise durch Denudation aufgeschlossen sind, als gebogen, während das darüber liegende mesozoische Gestein so gut wie keine Störung erfahren hat. An die diskordante Lagerung reiht sich die Schichtentransgression (übergreifende Lagerung); „dieselbe besteht darin, dass eine Schichtenfolge über das Verbreitungsgebiet des nächstälteren, sie gleichmässig unterlagernden Schichtensystems hinübergreift, so dass sie auf eine weitere Erstreckung unmittelbar einer dritten, noch älteren, meist abweichend gelagerten Gesteinsreihe aufruht“ [17]. Besonders häufig treten nach Neumayr [18] die Schichten der Permformation (S. 679) transgredierend auf.

Die Verwerfung bewirkt, dass einzelne Rindenstücke, sogenannte Schollen, sich gegeneinander verschieben, sei es, dass sich der Parallelismus durch sämtliche Schichten erhält, sei es, dass, indem mit der Vertikalverschiebung

auch Drehungen Hand in Hand gehen, das Bild entsteht, welches Fig. 177 vors Auge stellt. Einzelne Abteilungen mit paralleler Schichtenordnung liefern eine Treppenverwerfung. Den Vertikalabstand zweier zusammengehöriger Schichtenteile kennt man als Sprunghöhe [19] (réjet vertical oder dénivellation, Vertical Throw oder Amount of Throw). Ragt eine Scholle zwischen zwei anderen abgesunkenen Schollen isoliert hervor (Fig. 178), so heisst sie Horst [20] (massif surélevé, Heaved Block), während ein zwischen intakt gebliebenen Schollen abgesunkener Krustenteil bewirkt, dass sich ein Graben (Grabenversenkung; massif affaissé, Sunken Block oder Downthrown Block) bildet (Fig. 179). Horste

Fig. 177.



sind Schwarzwald und Vogesen, und zwischen sie ist der Graben der Rheinebene eingelagert. Denkbar ist auch, dass der eine der beiden Flügel, welche den Graben einnahmen, völlig verloren ging, indem er entweder selbst absank oder indem er denudiert wurde. Dann entsteht, mit Suess [21] zu sprechen, ein einseitiger Graben; diesem Gewährsmanne zufolge setzt sich der grossenteils einseitige Grabenbruch, welcher das Tote Meer birgt, durch den Meerbusen von Akabah südwestwärts fort, und einer der drei gewaltigen Gräben, von welchen H. Meyer [22] Afrika durchsetzt bezeichnet, ist nur eine Fortsetzung des syrisch-arabischen Grabenbruches. Auch sonst weist Th. Fischer [23] in Palästina zahl-

Fig. 178.

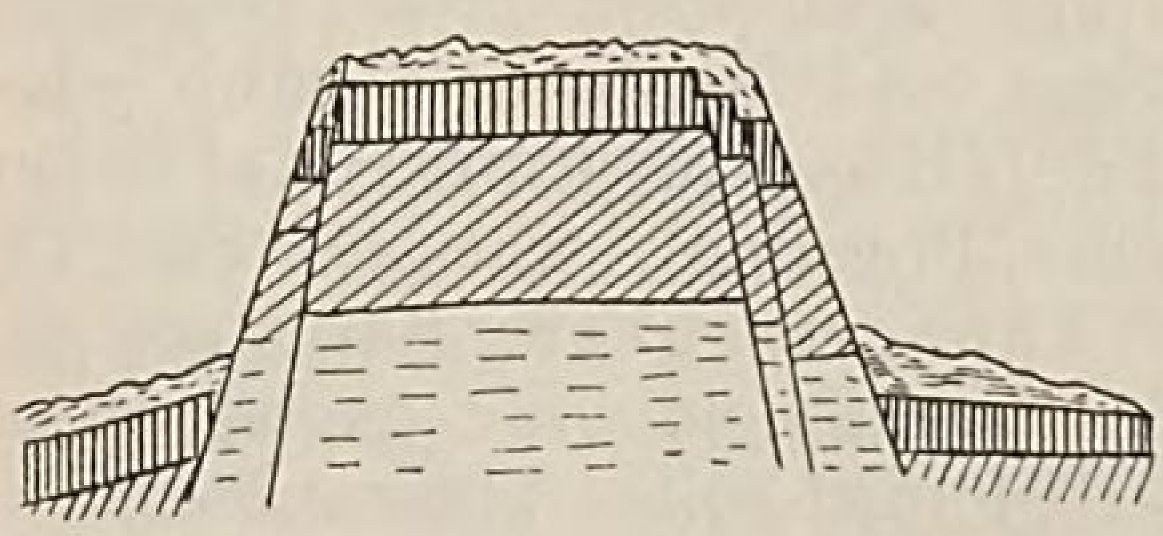
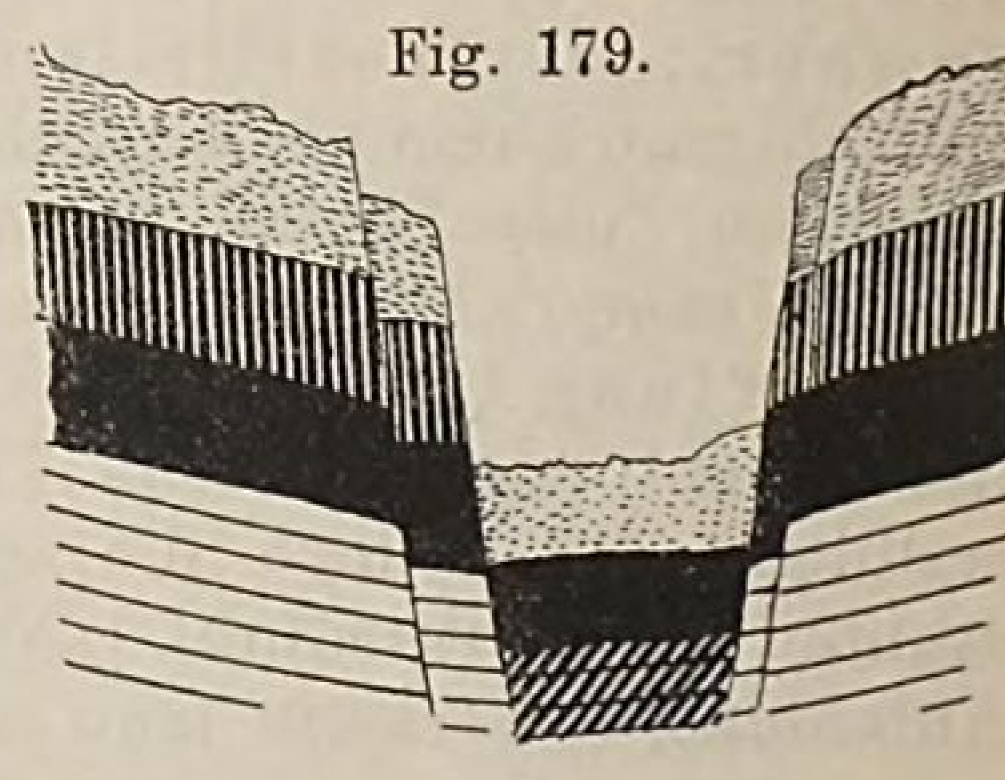


Fig. 179.

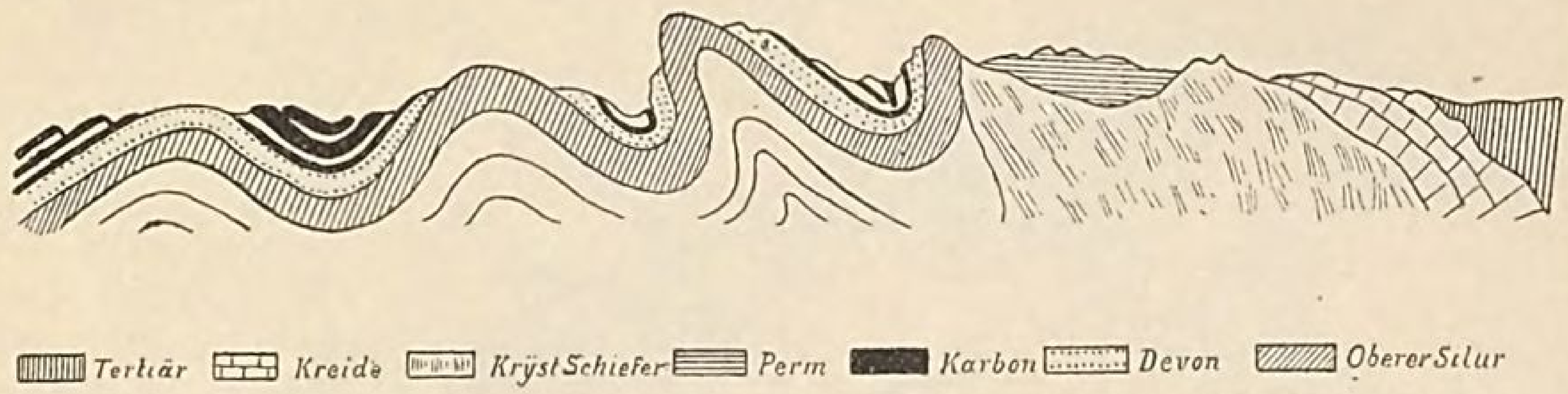


reiche Gräben als vorhanden nach; in dieser Beziehung verhält sich dieses Land ähnlich wie die Pyrenäenhalbinsel, welche sich dem gleichen Gewährsmanne zufolge [24] als eine uralte, mehrfach zerbrochene, aber von Faltungen nur in den Randgebieten betroffene Erdrindenscholle darstellt. — Ein überschobener Bruch (faille inverse, Reversed Fault) kommt zu stande, wenn die obere (hangende) Scholle über die untere (liegende) hinausgeschoben ist [25]. Falls die Sprungfläche, längs welcher sich die Verschiebung vollzogen hat, keine eigentliche Gesteinstrennung nach sich zog, ist von geschlossener (fermée, close), anderenfalls von klaffender Verwerfung (entrebaillement, Width) die Rede [26]. An den Wandflächen kann ein Rutschspiegel mit Friktionsstreifen (miroirs de failles mit stries, Slickensides mit striae) zum Vorschein gekommen sein. Wenn andererseits eruptive Gangmasse das Schichtgestein durchdrungen hat, so heissen die Berührungsflächen der beiden verschiedenen Gesteinsbildungen auf bergmännisch Salbänder.

Weit komplexer gestaltet sich die tektonische Formenlehre im zweiten Falle, wenn es sich also um Faltungen handelt. Um überhaupt die Begriffe etwas zu klären, verweisen wir auf ein Vertikalprofil eines Teiles vom Schweizer Jura oder

auch der Alleghanies (in Fig. 180). Jedes Faltengebirge setzt sich aus einzelnen Falten zusammen, und da unterscheiden wir grundsätzlich Mulde oder Synklinale (συγκλίνειν, gleichmässig geneigt sein; pli synclinal, Synclinal Fold) und Sättel oder Antiklinalen (ἀντικλίνειν, entgegengesetzt geneigt sein; pli anticlinal, Anti-

Fig. 180.



clinal Fold). Bei regelmässiger Faltung wird die Antiklinale zum Gewölbe; ein solches kann (gemäss Fig. 181) aufgesprengt (voûte ouverte) sein, so dass die früher schon (S. 690) namhaft gemachten Luftsättel die Verbindung zwischen den ihres Zusammenhanges verlustig gegangenen Schichten herstellen müssen [27].

Fig. 181.

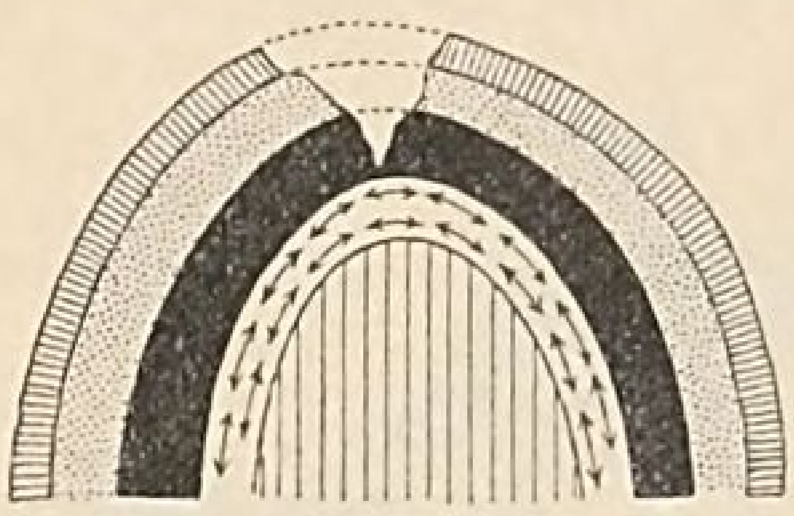
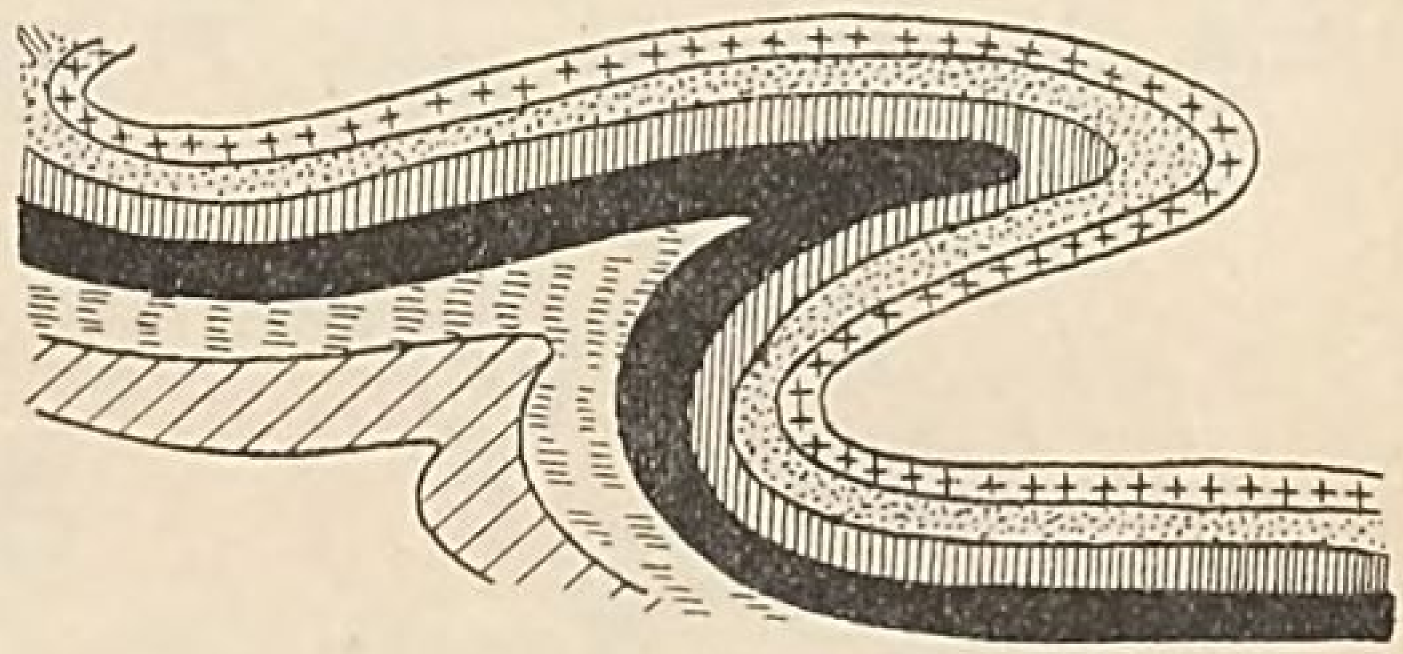
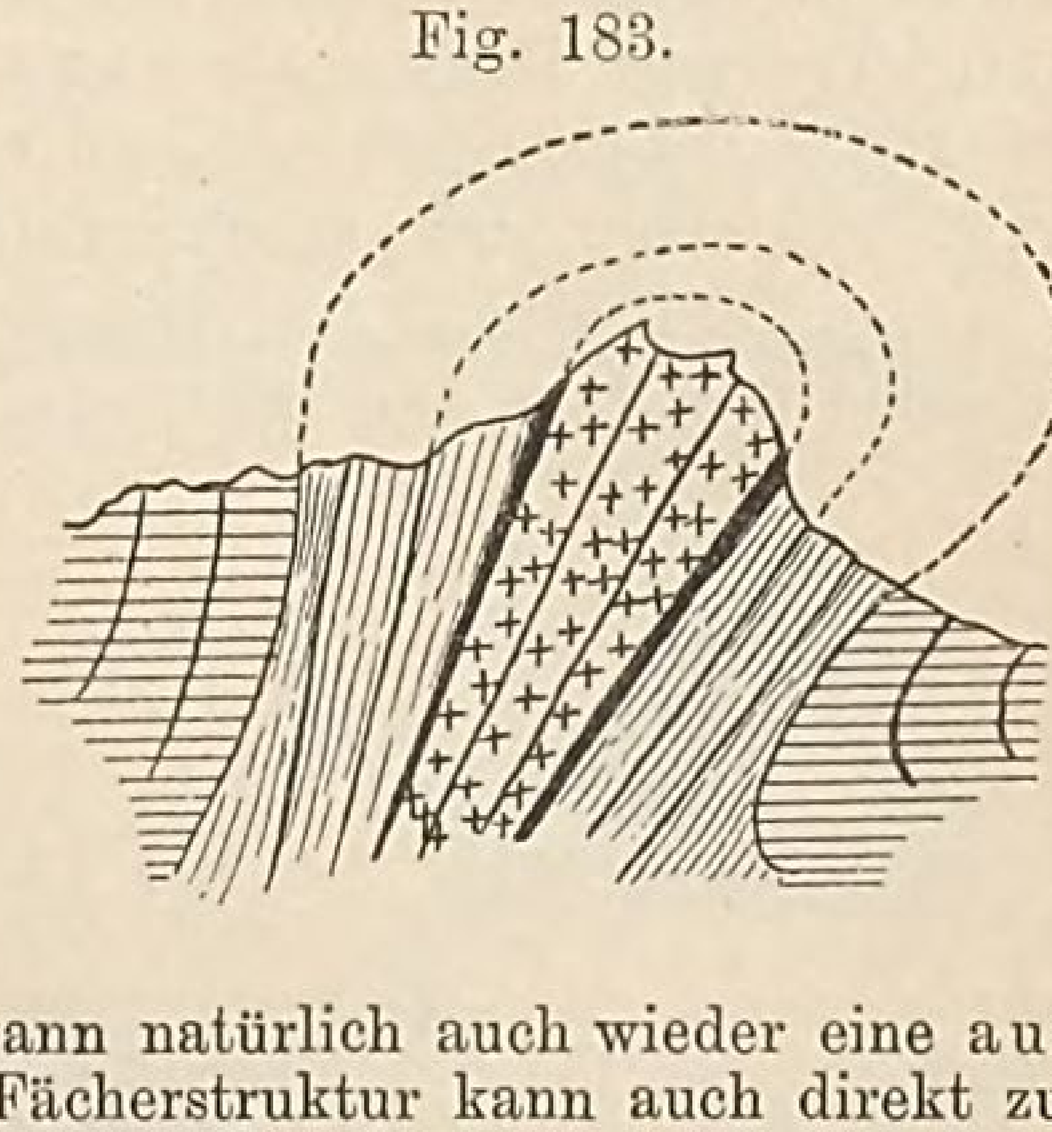


Fig. 182.



Dann treten wohl ältere Bildungen als Gewölbekern (Dôme, Swell) zu Tage. Eine unsymmetrische Falte, deren beide Flügel eben verschiedene Länge haben, kann zu einer liegenden (Fig. 182) und sogar zu einer übergekippten Falte (pli couché, Lying Oberfold; pli renversé, Inverted Fold) werden [28].

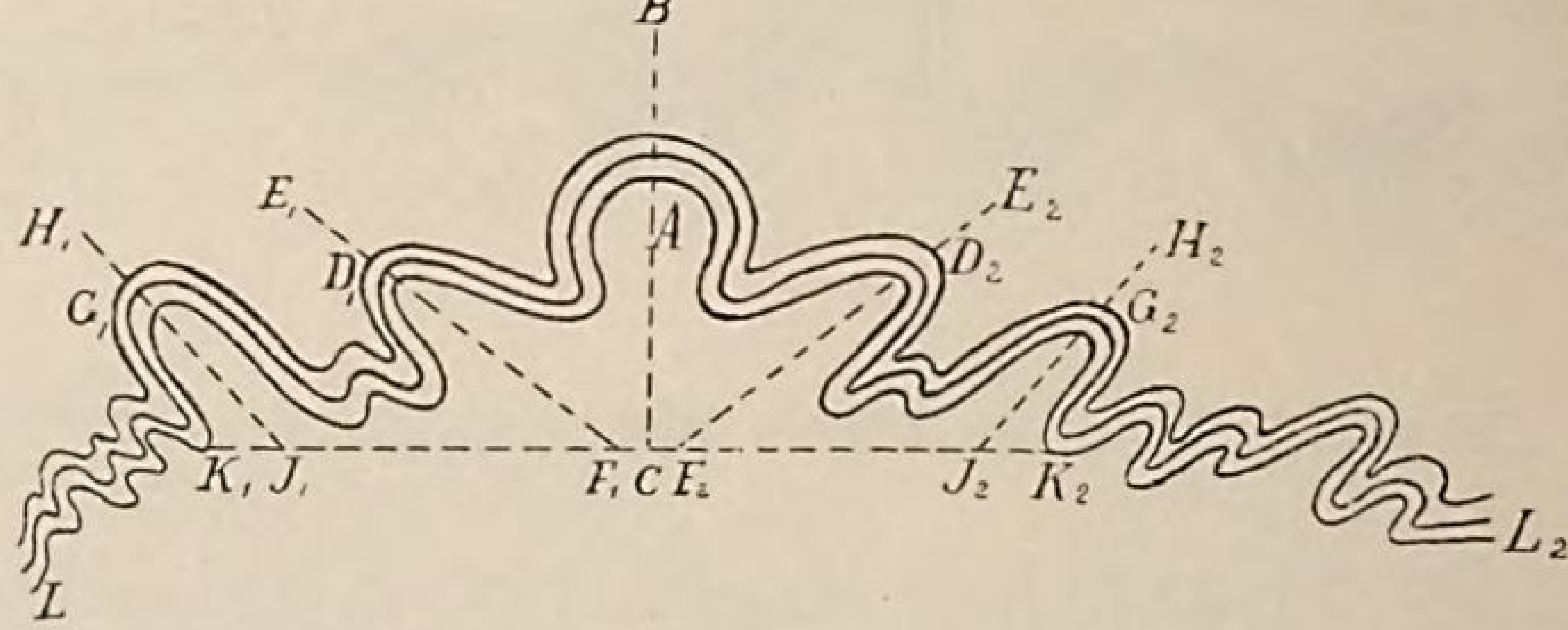
Fig. 183.



Die Fächerstruktur kann durch Zusammenschiebung eines Systemes vertikal gestellter Schichten, wenn der Druck nicht gleichmässig über die Grenzflächen verteilt ist, zu stande kommen. Allerdings aber muss in jedem einzelnen Falle Bedacht darauf genommen werden, ob nicht das, was als Fächer mit ebenen, konvergierenden Schichtflächen erscheint, thatsächlich eine im Muldenteile stark komprimierte Falte ist (vgl. Fig. 183). Eine solche Fächerfalte, wie solche namentlich durch A. Favres ausgedehnte Untersuchungen [29] als ein regelmässig wiederkehrendes Element der zentralen Schweizer Alpen, vorab des Gotthardmassives, nachgewiesen wurden, kann natürlich auch wieder eine aufrechte, schiefe und liegende sein. Die Fächerstruktur kann auch direkt zur Fältelung (Fig. 184) werden [30]. Der fortgesetzte Druck kann einen oder beide Faltenschenkel aufs äusserste verdünnen oder, wie man auch sagt, auswalzen [31], und man kann es verstehen, dass der Auswalzungsprozess, wie in Fig. 185, den Griff des Fächers an einer Stelle völlig durchbricht. „Wir finden dann jüngere Schichtfetzen vollständig von ihresgleichen abgetrennt und von den älteren umhüllt" [32] — eine Erscheinung, die nur durch sorgfältige Beachtung der tektonischen Ereignisse begreifbar wurde.

Zu Verwerfung, Faltung und Schichtenfächer ist von Suess [33] noch eine weitere Dislokation hinzugefügt worden, die Flexur [34] (flectere, beugen; flexure in beiden hier citierten Sprachen). Gelegentlich gebraucht war, wie wir von Penck [35] erfahren, die Bezeichnung

Fig. 184.



schon von Hopkins [36] und einzelnen amerikanischen Geologen worden, aber allerdings hat erst Suess die tektonische Bedeutung dieser Dislokation allgemein gewürdigt. Eine kurze Definition des Wesens der Flexur wird oft vermisst, indem man sich mit Umschreibungen behilft. Man kann aber sagen: Eine Flexur besteht dann, wenn

Fig. 185.

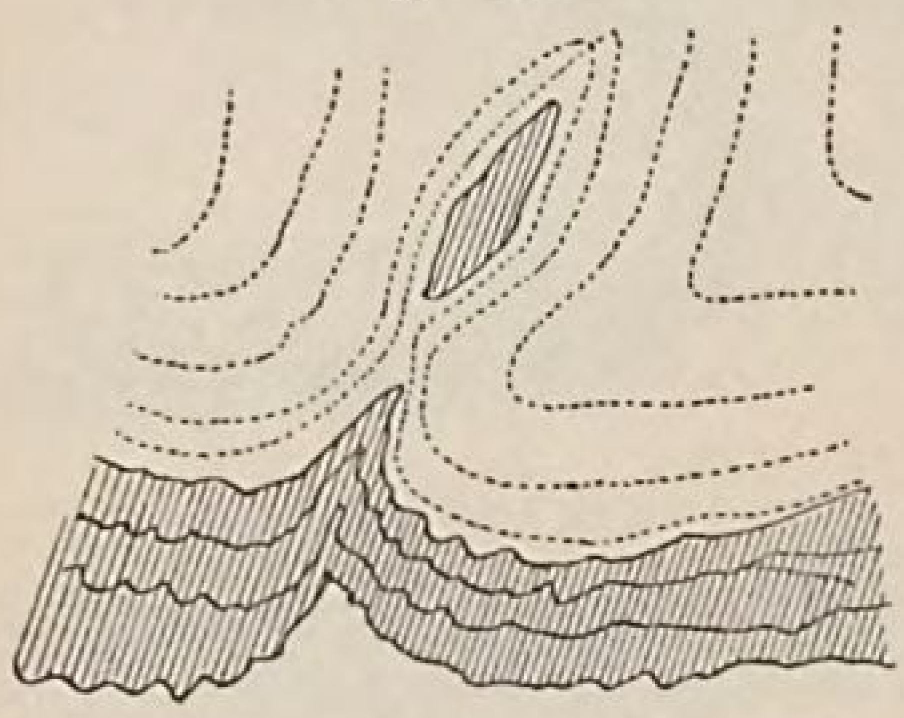
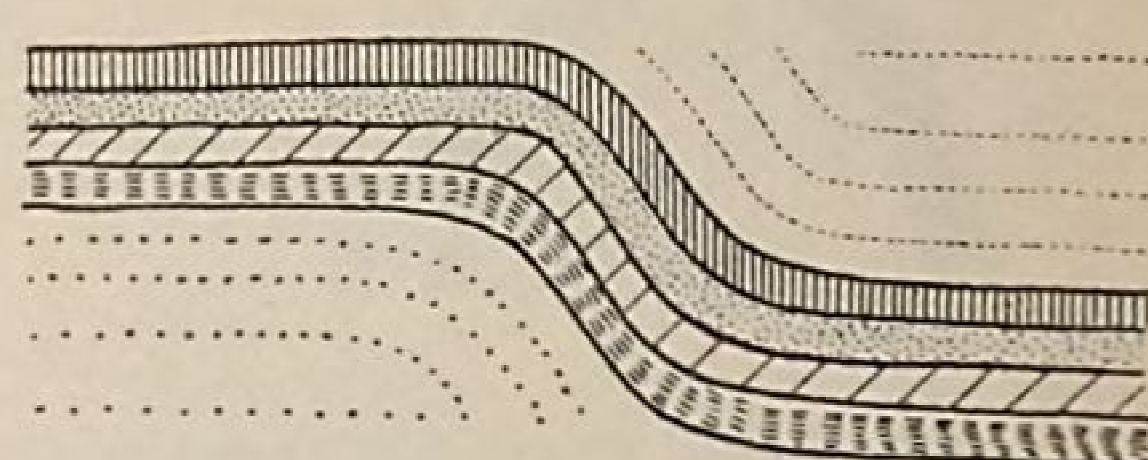


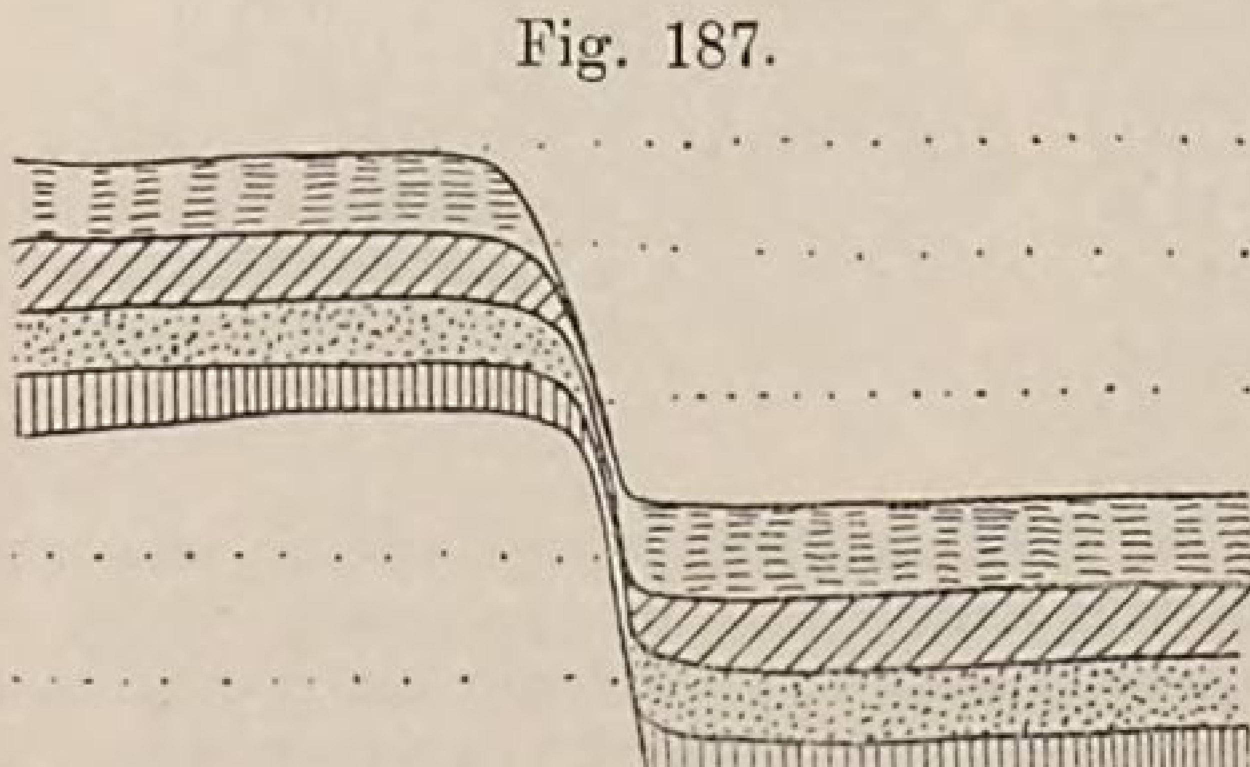
Fig. 186.



zwei parallele Schichtenteile durch einen angenähert rechtwinklig auf ihnen stehenden, mit beiden aber auch zugleich stetig zusammenhängenden Schichtenteil verbunden sind. In Fig. 186 sehen wir eine normale Flexur vor uns.

Aus der Zeichnung erhellt, dass eine Flexur mit dünn ausgewalztem Mittelschenkel (Fig. 187) dem äusseren Anscheine nach von einer Verwerfung nur unerheblich abweicht; in Wahrheit besteht aber der grosse Unterschied, dass ein Bruch (s. o.) den Zusammenhang der Schichten löst, während der Zusammenhang bei Flexuren fortbesteht. Dass es Flexurhorste (Fig. 188) und Flexurgräben gibt und geben muss [37], leuchtet von selbst ein. Eine schiefe Falte mit horizontalen Schenkeln kann geradezu mit einer Flexur identifiziert werden, und aus diesem Grunde erscheint es erlaubt, einen grundsätzlichen Gegensatz zwischen Flexur und Faltung nicht anzuerkennen, sondern ersterer als einem Spezialfalle der letzteren ihren natürlichen Platz anzuweisen. Dies wurde von Bittner, der eine einschneidende

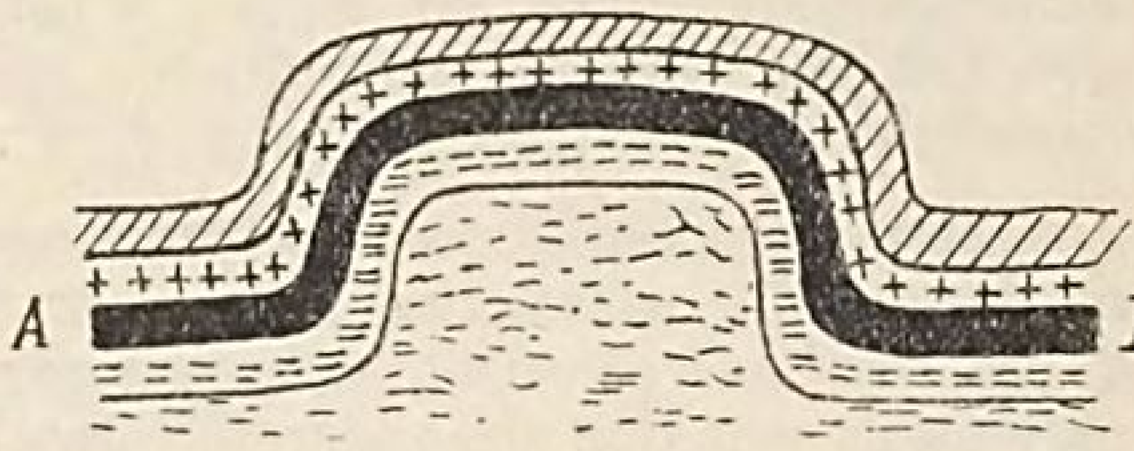
Fig. 187.



Kritik an der morphologischen Nomenklatur der neuesten Zeit übte [38], wohl mit Recht betont.

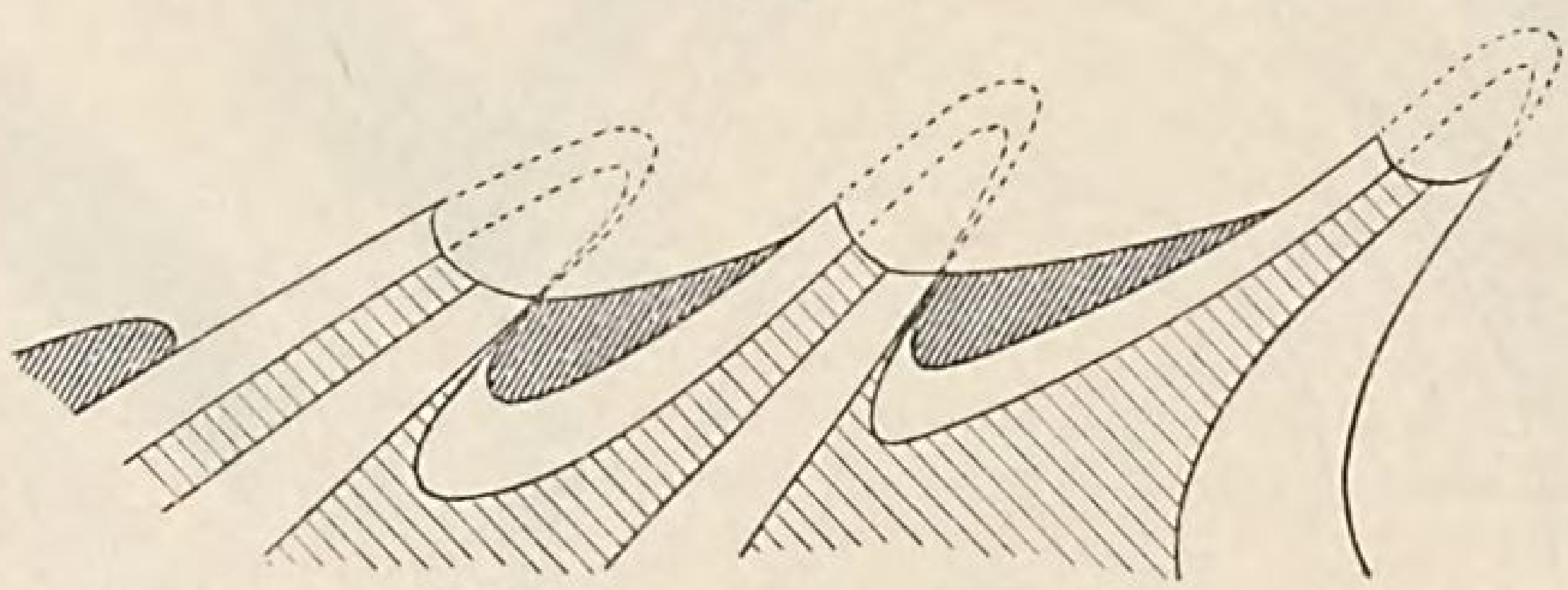
Und auch noch nach einer anderen Seite hin ist der Begriff der Flexur kein eindeutiger. Es kann nämlich offenbar gelegentlich die nämliche Rindenstelle zugleich einer Faltung und einem Bruche ausgesetzt gewesen sein, so dass in letzter Instanz eine Faltenverwerfung oder ein Wechsel (pli-faille oder faille de plissement, Faulted Overfold) herauskommt [39]. Dafür ist auch der Name Einknickung oder Schleppung (retroussement, Distortion) im Gebrauche [40]. Ein geschleppter Bruch kann aber auch einer echten Flexur zum Verwechseln ähnlich sehen. Wenn eine mehrmalige Ueberschiebung liegender Falten an den Wechselflächen, nach Massgabe von Fig. 189, eintritt [41], so spricht man, nach dem Vorgange von Suess [42], von einer Schuppenstruktur. In den Alleghanies hat sich diese anomale Lagerung zuerst Rogers' [43] scharfem Auge kundgethan.

Fig. 188.



Nicht jede Verschiebung innerhalb der Erdrinde braucht sich in einer auffälligen Sprunghöhe (S. 848) zu manifestieren. Eine horizontale Transversalverschiebung ist ein Blatt [44]; es ist dies mithin ein durch zwei Bruchflächen aus dem Gebirge quer oder diagonal herausgeschnittenes Stück. Man kann mit v. Richthofen [45] auch von Staffelverschiebungen und Staffelblättern reden. Wie sich die Dinge gestalten, wenn sich Horizontal- und Vertikalbewegung kombinieren, lehrt Fig. 190, nach Heim [46] entworfen. Ein Parallelepidedum von der oberen Basis ABCD wurde durch einen Vertikalschnitt,

Fig. 189.



der die Oberfläche längs der Geraden EF traf, zerlegt, doch haften einstweilen die beiden Teile noch fest aneinander. Denken wir uns die Hälfte, deren Basis CDEF ist, im Sinne des horizontalen Pfeiles verschoben, so kann eine vollständige Koinzidenz der Schichten an der Oberfläche herbeigeführt werden. Mit der Horizontalverschiebung war aber auch eine Verwerfung Hand in Hand gegangen; um sie auszugleichen, muss man den abgesunkenen Flügel gegen den vertikalen Pfeil so lange bewegt denken, bis die Linie GH in die Verlängerung von KJ gefallen ist.

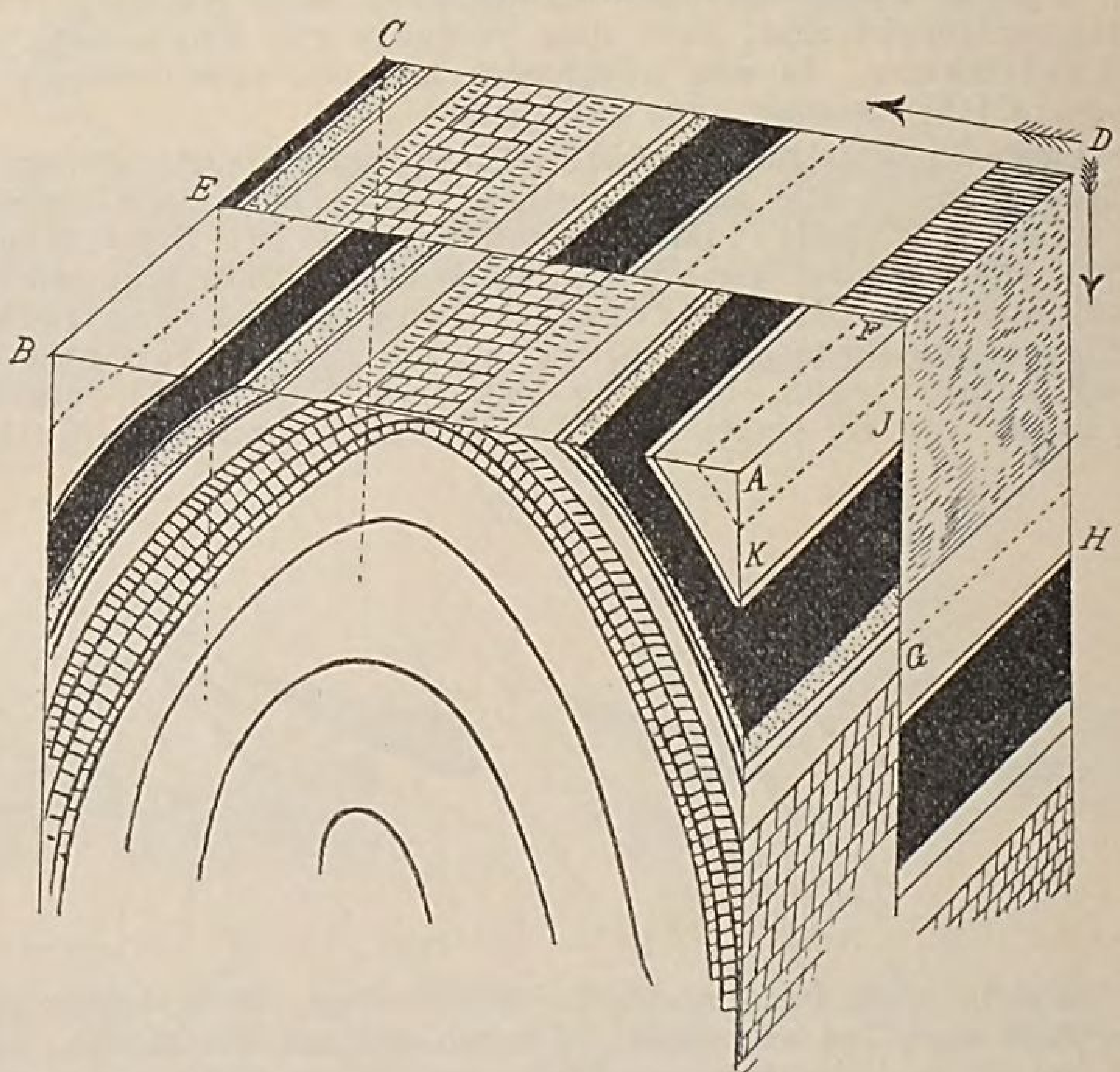
Die Bewegungsvorgänge können allerdings, worauf oben bereits angespielt wurde, noch verwickelter ausfallen, wenn gleichzeitig die drei Dimensionen des Raumes in Betracht gezogen werden müssen. So sind im Harz, wie Lossen feststellte [47], die Wechselflächen (s. o.) vielfach windschief verbogen, so dass auch Suess [48] an eine Torsion zu denken veranlasst ist. Auf eine ähnliche Wahrnehmung wurde Wermbter [49] in dem Berggelände westlich vom Harz geführt, wo also wohl auch entsprechende Kraftwirkungen sich geltend gemacht haben mögen. Auch v. Richthofen hält dafür [50], dass den von ihm deshalb als Schraubenbrüchen aufgefassten Verschiedenheiten in der Stellung der Flügel Torsion zu Grunde liege. Ganz unzweifelhaft spricht sich ein kräftiger Drehungseffekt aus in dem nach Holmes von Suess [51] wiedergegebenen Bilde der unteren Kreideformation in den Elk-Mountains (Colorado).

Ein ebenfalls durch Suess [52] eingeführter, von der modernen Orographie bereitwillig aufgenommener Begriff ist derjenige der Scharung der Falten.

Es soll damit der Thatsache präziser Ausdruck verliehen werden, dass sich die gefalteten Gebirgsketten nahe aneinander drängen [53]. Die Antithese der Scharung bildet die Virgation (virga, Rute) [54], wenn nämlich eine ausgesprochene Divergenz der Ketten beobachtet wird. So glaubt Suess [55] am besten die Aufnahmen der Unionsgeologen in den Felsengebirgen darstellen zu können; „die einzelnen Züge oder Aeste sind in solcher Weise aneinandergereiht, dass sie gegen West in Virgation auseinandertreten, während gegen Ost die nahezu geradlinige, von Nord gegen Süd gerichtete, gemeinsame Aussenlinie des Gebirges erzeugt wird".

Zum Schlusse dieser Ausführungen halten wir einen nachdrücklichen Hinweis darauf für erforderlich, dass wir zunächst noch keinerlei Verbindlichkeit für die Kausalerklärung eingegangen sind. Die aufgestellten Definitionen sind grösstenteils von den besonderen Vorstellungen unabhängig, welche man sich über

Fig. 190.



die Entstehung der betreffenden Gebilde angeeignet haben mag. Wenn somit Penck seine anfängliche Ansicht, dass die oben (S. 848) erwähnten Oberrheingebirge Horste seien, deshalb wieder zurücknimmt, weil an den dem Rhein abgewandten Seiten der Bruch fehle [56], so wird man zwar die Thatsache anerkennen, sich aber doch berechtigt halten, die Bezeichnung, welche den Augenschein so gut versinnlicht, sei es auch nur als eine morphographische, ferner beizubehalten.

§. 3. **Gebirgszusammenhänge.** Gestützt auf seine tektonischen Feststellungen, hat Suess den Oberflächenbau des Erdballes einheitlicher Betrachtung zugänglich zu machen gesucht. Niemand wird erwarten, dass ein derartiger erster Versuch, dessen Kühnheit auch sein Urheber nicht in Abrede stellte, sofort von völligem Gelingen begleitet sein und allseitig Beifall finden konnte. Nichtsdestoweniger steht Suess' Konstruktion der terrestrischen Gebirgssysteme gross und bahnbrechend da, zumal auch in methodologischer und hodegetischer Hinsicht, und weil alle auf ein gleiches Ziel gerichteten Bemühungen sich

mit dieser mächtigen Anregung abzufinden haben. Deren Bedeutung wird insonderheit dann recht klar, wenn man mit ihr ältere Arbeiten von verwandter Tendenz in Parallele stellt.

Eine Anzahl solcher Versuche, a priori ein Netzwerk tellurisch-orographischer Leitlinien auf der Erdoberfläche zu bestimmen, wurde schon kurz (S. 695) gestreift. Nicht minder ist Élie de Beaumonts [57] Pentagonaldodekaeder Gegenstand der Erörterung (S. 668) gewesen. Was allen diesen Systemen als unabwendbarer Nachteil anhaftete, war der Umstand, dass sie einseitig auf Kartenstudium und formaler Betrachtung beruhten, das ursächlich bestimmende Element dagegen ganz und gar beiseite setzten. Gerade diesen Punkt hat aber Suess umfassend berücksichtigt. Wir geben hier natürlich nur die wichtigsten Punkte wieder, indem wir bezüglich der Begründung auf das gewiss noch lange im Vordergrunde geodynamischen Interesses stehende Werk verweisen.

Von Südschweden aus dringt die oben (S. 847) erwähnte russische Tafel durch dieses Land hindurch bis Galizien vor. Erst hier am Rande ist sie von dem gewaltigen Faltungsprozesse betroffen worden, welcher die Karpathen in ihre gegenwärtige Gestalt brachte; die Sudeten, eine grossenteils ältere Bildung, unterteufen das erstgenannte Gebirge, und dieses wiederum steht in direktem tektonischem Zusammenhange mit den Alpen. Von mehreren konzentrischen Leitlinien, die das Alpensystem bestimmen, geht die nördlichste, durch das Medium des Wiener Waldes und der bei Pressburg beginnenden Kleinen Karpathen hindurch, in den eigentlichen Karpathenzug über [58], während eine zweite Linie, die des Ungarischen Mittelgebirges, längs des Platten-Sees (S. 774) verläuft. Die Alpen setzen sich über die Pforte von Savona weg in den Apenninen fort, und auch in Nordafrika glaubt Suess [59] den Bau des italienischen Rückgratgebirges sich wiederholen zu sehen. Mit Recht weist er jedoch auf das verschiedene Verhalten des Atlas hin; gewiss ist dieser selbst ein gefaltetes Kettengebirge, aber in seinem nördlichen Vorlande vermochte Th. Fischer [60] keine Spur von Faltung zu entdecken. Innerhalb der Alpen lassen sich zahlreiche Einzelfalten herausheben und denselben tektonischen Akten, welche die Auffaltung hier bewirkten, dankt auch der — durch die Regelmässigkeit seiner parallel streichenden Ketten ausgezeichnete — Schweizer Jura sein gegenwärtiges Aussehen. Vom Fusse der Alpen zieht sich nach Norden hin das fränkisch-schwäbische Senkungsfeld, unterbrochen von Horsten (S. 848) und Einbruchskesseln. Solch kesselförmige Einbrüche, zu denen hier also das Ries (I, S. 398) gehören würde, finden sich nach Suess [61] häufig an der Innenseite der Faltenwürfe. Als Reste denudierter Horste ragen im nordwestlichen Böhmen und nordöstlichen Bayern drei riesige Quarzzüge empor, „die grössten Denkmäler linearer Dislokation, die überhaupt in unserem Weltteile bekannt sind" [62]. Und unter diesen ist wieder der bedeutendste der Pfahl, der, einer stark vom Zahne der Zeit angefressenen Gebirgsmauer vergleichbar, nach v. Gümbel [63] 140 km lang ist und vom Böhmerwald bei Cham bis an die Naab reicht. Jüngere Bildungen können, wenn die Denudation noch nicht hinlänglich gewirkt hat, einen solchen Gebirgszug überdecken, zeitweilig verschwinden lassen. — In dem durch Alpen und Apenninen gebildeten Hohlraum haben folgeweise mehrere Einbrüche stattgefunden; den tiefsten Ort des von Terrassen begrenzten Kessels nimmt das Adriatische Meer ein [64], und Absenkungstreppen ziehen sich im Bogen bis zum Idro-See hin, während die Cima d'Asta als mächtiger Horst zu denken ist. Ebenso können, nach dem Fortschritte der Einsenkung und dem damit verbundenen Meeresrückgange, fünf Mediterranstufen unterschieden werden [65], aus deren erster der frühtertiäre Schlier (S. 798) übrig blieb. — Fast ganz Nordafrika wird, wie bemerkt (s. o.), durch die auch nach Asien hinüberreichende Wüstentafel eingenommen, die in ihrer Art dasselbe wie die russische Tafel (s. o.) ist. Auch für das ungeheure Indoafrikanische Tafelland fehlt seit Beginn der Kohlenperiode (S. 679) jedwedes Anzeichen der Faltung [66]. — Um so energischer bethätigt sich dieser Prozess im Bereiche der Nordindischen Scharung; während das Indische Tafelland ganz zum nördlichen Teile des Pazifischen Ozeans zu rechnen ist [67], sehen wir im Norden eine Anzahl der gewaltigsten Erdgebirge sich in Ketten zusammendrängen, und auch die noch wenig erforschten Birmanischen Kettengebirge scheinen geotektonisch demselben Systeme, wie jene, anzugehören. Die Beziehungen des Küen-lün zu den

anderen Gliedern lassen sich aber, mit so grosser Mühe auch Wegener [68] aus unvollständigen Quellen den Charakter dieses Längsgebirges herauszufinden bestrebt war, noch nicht ganz klar überblicken. — Die grossartigste Kombination bei Suess ist aber [69] die von ihm angebahnte Herstellung einer Verbindung der zentralasiatischen Faltung mit Karpathen und Alpen, zu welchem Zweck es der Zusammenfügung von fünf gegen Süden konvexen Gebirgsbogen bedurfte: des Malayischen Bogens, Himálaya-Bogens, Hindukusch-Bogens, Iranischen Bogens und Dinarisch-Taurischen Bogens. Eine wichtige Rolle ist in diesem mannigfach gewundenen Bande dem Zwischengliede des Kaukasus zugeteilt, den Suess [70] mit Abich [71] in seiner Zentralpartie „als eine ungeheure, gegen Südwest überschlagene Falte" aufgefasst wissen will. Demgegenüber erachtet Futterer [72] die Faltung der Urgebirgsteile im Kaukasus für eine verhältnismässig regelmässige, indem die Kammlinie wesentlich mit der Wasserscheide zusammenfällt. — Den einheitlichsten Bau spricht unser Gewährsmann Südamerika zu [73], indem die Gleichförmigkeit der paläozoische Sedimente tragenden Brasilianischen Tafel lediglich durch die mächtige Faltung der Anden am Westende beeinträchtigt wird. Die westindische Inselreihe führt bei Suess [74] den Namen Kordillere der Antillen; damit ist auch des Kolumbus Interpretation [75] dieser Eilande als einer ehemaligen Kontinentalbrücke gerechtfertigt. — Der nordamerikanische Kontinent liegt [76] an der Innenseite eines vom hohen Norden herabstreichenden Faltensystemes, welches seine kräftigste Ausprägung in den Alleghanies fand. Da wo die nur zum Teile gefalteten Rocky Mountains auftreten, sind abrupte Aufkantungen, Schleppungen und Vorfaltungen zu konstatieren, so dass zahlreiche mesozoische Horste sich erheben. Die Sierra Nevada dagegen ist wieder als eine gegen Westen übergeschobene Faltung zu betrachten. — Alles in allem tritt ein auffälliger Mangel an Symmetrie zwischen östlicher und westlicher Nordhalbkugel zu Tage [77]. In Asien erweist sich die Richtung der faltenden Bewegung als vom Inneren des Erdteiles gegen aussen gerichtet, wogegen in Nordamerika die uralten Bildungen Kanadas rings von gegen dieselben konkaven Faltenzügen umgeben erscheinen. Europas Ketten vermitteln den Uebergang von der einen Hemisphärenhälfte zu der anderen. Auch spielt der Faltenwurf in Eurasien eine ungleich einflussreichere Rolle als in Amerika, wo vielmehr Radialbewegungen der Schollen gegen das Zentrum hin vorherrschend waren.

Es kann nicht wunder nehmen, dass unter dem Eindruck einer Analyse der orogenetischen Vorgänge, welche in so hohem Masse den Stempel grossartiger Einheitlichkeit trägt, da und dort an der Ausgestaltung des Systemes und an dessen Ausdehnung auf solche Erdräume, die von Suess noch nicht behandelt waren, zu arbeiten versucht ward So ist in erster Linie (vgl. S. 553) Reiters [78] Zusammenfügung der verstreuten antarktischen Archipele zu einem Südpolarkontinente anzuführen. Dass zur Zeit einem solchen Beginne freilich noch Bedenken aller Art entgegenstehen, dürfte von Tietze [79] genügend erhärtet sein.

§. 4. **Paläogeographie und Permanenz der Kontinente.** Bei allen Untersuchungen über Gebirgszusammenhänge grossen Masstabes gelten die Kontinente als etwas Festes, ein für allemal Gegebenes. Sind sie dies aber auch wirklich? Diese Frage trat uns schon einmal entgegen, als wir (S. 232) die klimatischen Zustände der geologischen Vorzeit zu prüfen hatten. Eine Entscheidung wird, wenigstens bis zu einem gewissen Grade, durch die hier als Paläogeographie (S. 637) erscheinende Paläontologie herbeigeführt, welche uns darüber aufklärt, welche Gebiete zu einer bestimmten Epoche von Wasser bedeckt waren, und welche trocken lagen.

Eine paläogeographische Uebersicht der Erde für die einzelnen Zeiträume liefern zu wollen, verbietet sich hier von selbst, und es muss bei der Vorführung einiger Beispiele sein Bewenden haben. Dass Europas Inneres, teilweise bis tief ins känozoische Zeitalter herein, vom Meere bedeckt war, kann keinem Zweifel unterliegen; mit am längsten hielt sich als Busen eines von Norden hereinreichenden Meeres das Mainzer Tertiärbecken, über welches Lepsius [80] eine Monographie geliefert hat. Thüringen dagegen hatte sich nach Liebe [81] schon viel

früher, nämlich gegen das Ende der paläozoischen Aera, gegen das freie Meer so ziemlich abgeschlossen. Die Europa umrahmenden Meeresbecken sind ebenfalls keine sehr alten Bildungen; für die Ostsee soll dies später dargethan werden, und dass Adria und Mittelländisches Meer erst in der Tertiärperiode eine der heutigen nahe kommende Gestsalt angenommen haben dürften, ging aus den Erklärungen von Suess (s. o.) hervor. Auch aus einer Diskussion [82] französischer Geologen über dieses Meer war dies schon früher zu schliessen. Sehr zweifelhaft ist man noch darüber, ob der Atlantische Ozean schon in sehr alter Zeit als solcher vorhanden gewesen sei. Für dessen südlichen Teil glaubt dies Neumayr [83] in Abrede stellen zu müssen, weil in den angrenzenden Festlandschichten der beiden begrenzenden Erdteile die Kreide die jüngste Formation repräsentiert. Sehr eingehend behandelt v. Jhering [84] die paläographischen Verhältnisse Südamerikas, und auf seine Abhandlung möchten wir als typisch für die Klarstellung ähnlicher Beziehungen besonders verweisen; eine Formationskarte von Steinmann [85] leistete ihm dabei die besten Dienste. In der älteren kretazeischen Periode fand eine energische Transgression des Kreidemeeres über Nord-, Mittel- und Südamerika hin statt, so dass die entsprechenden Ablagerungen von Texas, Mexiko und Brasilien eine zweifellose Familienähnlichkeit aufweisen. Von Neumayr (s. o.), dem er sonst vielfach beipflichtet, weicht v. Jhering insofern ab, als er [86] einen mesozoischen Pazifikkontinent postuliert. — Eine sehr wichtige Frage ist endlich auch die des zentralasiatischen Binnenmeeres (vgl. S. 772). Der chinesische Name Han-kai bedeutet nach Hirth [87] allerdings nicht so viel wie „Trockenmeer", aber der geologische Befund bestätigt das dereinstige Vorhandensein eines solchen Meeres, wie v. Richthofen [88] des näheren darlegt. „Mit grosser Wahrscheinlichkeit," schreibt derselbe an anderem Orte [89], „sind höher gelegene Teile der abflusslosen Gebiete Asiens, wie die dsungarische Mulde, das Tarymbecken und der mittlere Teil des eranischen Hochlandes, ebenfalls in ihrem Charakter noch zum grossen Teile durch die ehemalige Anwesenheit des Meeres beeinflusst . . ." In tiergeographischem Sinne erörtert Kobelt [90] den Gegenstand, der Ansicht Krassnows und Muschketows beistimmend, dass der Tian-schan seinerzeit aus einem Tertiärmeere aufstieg.

Ganz von selbst wirft sich dann eine weitere, mit den soeben behandelten Dingen aufs innigste zusammenhängende Frage auf: Hat den Kontinentalblöcken eine gewisse Stabilität durch die ungeheuren geologischen Zeiträume hindurch angehaftet, oder sah jede längere Periode eine vollkommene Umgestaltung in der Verteilung von Meer und Festland? Eine Entscheidung hierüber ist noch nicht getroffen worden, vielmehr stehen sich sehr zwiespältige Anschauungen gegenüber. Die Entwickelung des Permanenzproblems kennzeichnet Penck [91] mit kräftigen Strichen; H. Jordan [92] und Oppenheim [93] haben dasselbe gemeinverständlich dargestellt.

Für eine relative Permanenz — denn dass da und dort die erheblichsten Abtrennungen und Vergrösserungen eingetreten waren, liegt am Tage — trat der Amerikaner Dana [94], im Gegensatze zu Lyell, ein, der die griechische Lehre von der ἀποκατάστασις (S. 661), d. h. von der Totalverwandlung des Wassers in Festland und umgekehrt, auch als eigenes Glaubensbekenntnis adoptiert hatte. „Continents", so sind seine bezeichnenden Worte [95], „therefore, although permanent for whole Geological Epochs, shift their Positions entirely in the Course of Ages." Noch gebrach es aber an der Möglichkeit, die marinen Absätze der Vergangenheit, wie sie unsere Kontinente bedecken, entsprechend zu würdigen, und erst durch den gewaltigen Fortschritt in der Erforschung des Tiefseebodens (S. 413), wie ihn die grossen ozeanographischen Expeditionen der Neuzeit ermöglicht hatten, wurde man zu der Wahrnehmung hingeleitet, dass die abyssischen Sedimente den aus Meeren der geologischen Vergangenheit niedergeschlagenen Straten keineswegs gleichzusetzen sind. Zumal Wyville Thomson, der beste Kenner der Tiefsee, liess sich so vernehmen [96]. Unter scharfer Hervorhebung der biologischen Motive einerseits, physikalischer, den Dichteverhältnissen einzelner Teile der Erdkruste entnommener andererseits traten Wallace [97] und O. Fisher [98] auf dieselbe Seite, und ihnen schlossen sich H. R. Mill [99] und

die beiden Geikie [100] an, wogegen Mellard Reade [101], Crosby [102] und Starkie Gardener [103] sehr entschieden ihre Gegnerschaft hervorkehrten. Man sieht, dass die Streitfrage noch kaum für völlig spruchreif gehalten werden kann, und wir möchten es, im Einklange mit Neumayr [104], zwar für wahrscheinlich halten, dass es Gegenden in den Weltmeeren, am meisten im Grossen Ozean gibt, die seit der archaischen Zeit Meeresteile waren, dass aber im grossen und ganzen von Permanenz nur sehr bedingt gesprochen werden kann. Denn die Ozeane sind eben doch durchweg Bruch- und Senkungsgebiete, wie dies für die Baffins-Bay, die Hudsons-Bay und die ostasiatischen Randmeere (S. 378) unzweifelhaft feststeht, und auch der Umstand fällt in die Wagschale, dass (S. 409) zwischen Kontinentalsockeln und Tiefseeplateaux besonders ausgesprochene Steilabfälle durch die neuesten Lotungen konstatiert worden sind.

Auf alle Fälle kann nur der geologischen Forschung das Recht zugesprochen werden, eine Entscheidung langsam vorzubereiten. Durch aprioristische Konstruktion, welche mehr in die Natur hineinlegt, als sie herausliest, lässt sich nicht A. v. Humboldts [105] berechtigter Wunsch erfüllen, „die räumliche Verteilung des Festen und des Flüssigen, dem inneren Kausalzusammenhange der Erscheinungen folgend", zu ergründen. So können die Versuche von Skalicky [106] und Dorr [107] (vgl. S. 695) nicht befriedigen, weil sie die momentane Umrissform der Kontinente als etwas Feststehendes zum Ausgangspunkte nehmen, und auch gegen Habenicht [108] lässt sich einwenden, dass seine im übrigen vielfach bemerkenswerten Spekulationen eben zu sehr Spekulationen sind und ausser-tellurischen Einflüssen einen viel zu weiten Spielraum gestatten.

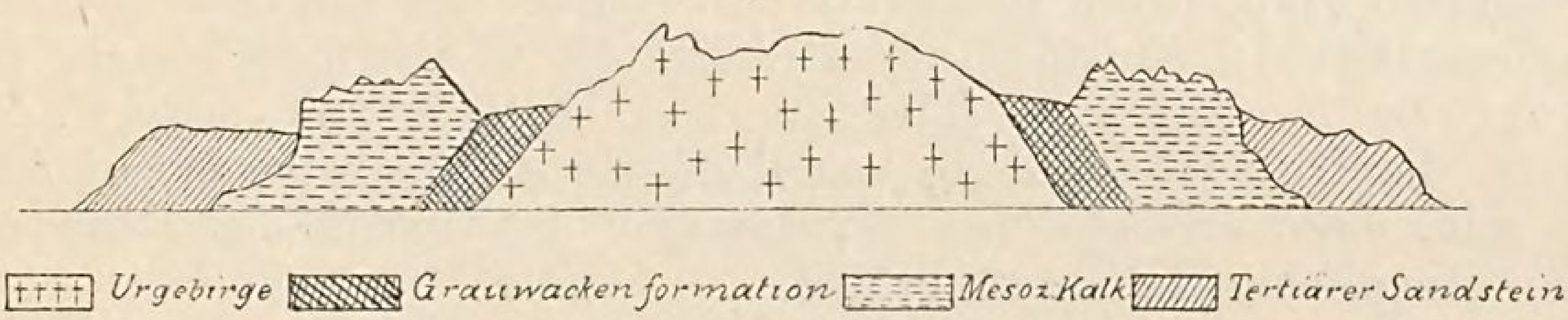
§. 5. **Theorien der Gebirgsbildung.** Von dem Augenblicke an, da sich das Kausalbewusstsein im Menschen regte, musste er auch darüber nachdenken, wie die Unebenheiten der Erdoberfläche zu stande gekommen sein möchten. Als „Vater der modernen Gebirgsbildungstheorien" bezeichnet v. Zittel [109] den genialen Geographen Strabon [110]; ihm waren die Höhen Erzeugnisse unterirdischer Reaktionskräfte. Mit den Meinungen des Mittelalters hat uns Kretschmer [111] bekannt gemacht. Erst gegen Beginn des XVII. Jahrhunderts jedoch hatte die dynamische Geologie soweit wissenschaftliche Gestalt gewonnen, dass von eigentlichen Gebirgsbildungstheorien die Rede sein konnte.

Dass naive Hypothesen genug mit unterliefen, darf uns nicht wundern; so diejenige des Ristoro d'Arezzo, der den Gestirnen die Kraft zuschrieb [112], je nach ihrer dichteren Verteilung das Festland stärker aus dem Wasser herausgehoben zu haben, oder die des nur an den Anblick der heimischen Dünenreihen gewöhnten Niederländers Stevin, der sich Berge nur als grosse Sandhaufen vorzustellen vermochte [113] („on doit scavoir que toutes les montagnes ont esté premierement sable . . ."). Im Zusammenhange betrachtet, da wir von den schon früher (Kap. I, § 3) summarisch behandelten Lehren der Schöpfungstheoretiker hier absehen dürfen, zuerst der Italiener Moro die Gebirgsbildung, freilich einseitig genug, indem er fast sämtliche Erhöhungen als vulkanisch gehobenen Meeresgrund ansprach [114]. Im Verhältnis hiezu ist De la Métherie doch der Erkenntnis des Wahren schon weit näher gekommen, indem er das Problem als ein komplexes, nicht durch eine einzige Erklärung zu erledigendes erkennt und die Bildung der Gebirge und Thäler „in den Erdlagen erster und zweiter Entstehung" als nicht notwendig übereinstimmend auffasst [115]. Bald nachher entstand unter dem beherrschenden Einflusse L. v. Buchs eine die bisherigen Ansichten zusammenfassende Theorie, die fast ein halbes Jahrhundert lang von der Geodynamik beibehalten und nur unter grossen Schwierigkeiten allgemach beseitigt wurde. Den ersten Anstoss zu dieser Erhebungstheorie, wie man sie wohl am sinngerechtesten nennen würde, hat übrigens Saussure gegeben [116], als er sich von der mehrfach im Montblancgebiete angetroffenen lotrechten Stellung einzelner Schichtenfolgen (vgl. S. 847) Rechenschaft zu geben suchte, und wesentlich auch das Studium des Baus der Alpen ist für v. Buch [117] bestimmend gewesen. Eine übersichtliche Charakteristik des Wesens dieser Anschauung ist in dem Werke [118] von Neumayr-Uhlig zu finden.

Es wird angenommen, das Schichtgestein befinde sich in demselben Zustande, in welchem es aus dem zuvor die Erde überdeckenden Wasser hervorgegangen war, nämlich in ungestört horizontaler Lage. Ein gewaltiger Stoss von unten, durch plutonische Kräfte ausgeübt, sprengte von unten nach oben die Schichtendecke auseinander, und die untersten Felsmassen, aus Urgestein oder doch sehr alten Sedimenten bestehend, wurde durch die entstandene Oeffnung emporgepresst. Zu beiden Seiten wurden die Straten mit in die Höhe gerissen und aufgerichtet, so dass ältere Bildungen im allgemeinen einen stärkeren Böschungswinkel erhielten, und so entstand die — angeblich — allen Kettengebirgen, vorab unseren Alpen, gemeinsame zonale Anordnung, welche aus dem ganz im Sinne der Schule v. Buchs gehaltenen Schema der Fig. 191 zu ersehen ist. Als Grauwacke fasste die ältere Geologenschule die starke untere Hälfte des Paläozoikums zusammen.

Man kann nicht leugnen, dass diese Zurückführung bekannter Landschaftsbilder auf einen Vorgang, der dem Vulkanisten der Humboldt-Buch'schen Periode (I, S. 420) als etwas ganz Naturnotwendiges erscheinen musste, nicht ohne eine gewisse Ueberzeugungskraft ist. Allein in dem Masse, in welchem gerade die

Fig. 191.



Alpengeologie (S. 683) fortschritt, stellte sich bezüglich dieses Gebirges heraus, dass jene Zonenglieder, welche die Theorie gebieterisch verlangt, keineswegs überall vorhanden sind. Auf der Nordseite dieses Gebirges ist allerdings der die interne Urgebirgskette begleitende mesozoische Zug kräftig entwickelt; auf der Südseite dagegen ist er dies so wenig, dass er gegenteils oft auf weite Strecken gänzlich fehlt, ohne dass man ein Recht hätte, Trias- und Juralagen hier als anfänglich vorhanden, später aber denudiert vorauszusetzen. Auch war man darüber nicht einig, ob die Hebung durch einen Ruck oder durch eine ganze Anzahl von Einzelstössen bewirkt sein sollte. In dieser letzteren Richtung bildete namentlich Élie de Beaumont [119] die Elevationstheorie weiter aus, da er gefunden hatte, dass die ursprüngliche Annahme, wonach mit einer einzigen Katastrophe alles abgethan sein sollte, die örtlichen Verhältnisse durchaus nicht allenthalben befriedigend erklärte. Auf die Art und Weise, wie er die Ruckfolgen mit seinem Pentagonalnetze (S. 853) in Verbindung brachte, kann hier nicht näher eingegangen werden. Es erhellt, dass sich diese Interpretation der Gebirgsentstehung mit der in Frankreich, und nicht nur dort, die Oberherrschaft übenden Cuvierschen Katastrophenlehre (S. 667) vortrefflich vertrug.

In Frankreich erhob zuerst, wie wir bei v. Zittel [120] lesen, Prévost [121] schüchterne Einsprache gegen die herrschende Lehre. Durch Lyells „Principles“ und durch De la Beches Leitfaden der dynamischen Geologie [122] wurde der heute noch im wesentlichen anerkannten Auffassung der Boden bereitet, dass auch die gebirgsbildenden Kräfte nicht nur abrupt und gelegentlich, sondern unausgesetzt wirksam sind, wiewohl nur dann und wann eine lebhaftere Kraftäusserung (I, S. 412) den ruhigen Entwicklungsgang unterbricht. Zu denjenigen, welche, durch die Betrachtung des heimischen Juragebirges angeregt, dem Vertikalhube einen Lateralschub zu substituieren für notwendig hielten, gehörte vor allem auch der schweizerische Ingenieur Thurmann [123], in dessen Arbeiten [124] eine totale Umbildung der ursprünglichen

Ansichten zu bemerken ist. Nachdem sich dann die in der Kritik sehr, im positiven Aufbau dagegen minder glückliche Theorie der Faltenbildung in den Appallachen von Rogers [125] als eine Durchgangsphase der Erkenntnis erwiesen hatten [126], begann Dana [127] mit grösster Klarheit den Umriss jenes tektonisch-dynamischen Lehrgebäudes zu zeichnen, an welchem erst die allerneueste Zeit wieder zu rütteln unternahm. Aber erst durch E. Suess' Schriften (S. 846), unter denen neben dem in der Oeffentlichkeit bahnbrechenden „Antlitz der Erde" auch die Abhandlung [128] über die der Faltung begegnenden Hindernisse hervorzuheben ist, wurde der einstweilige Sieg dieser Theorie entschieden.

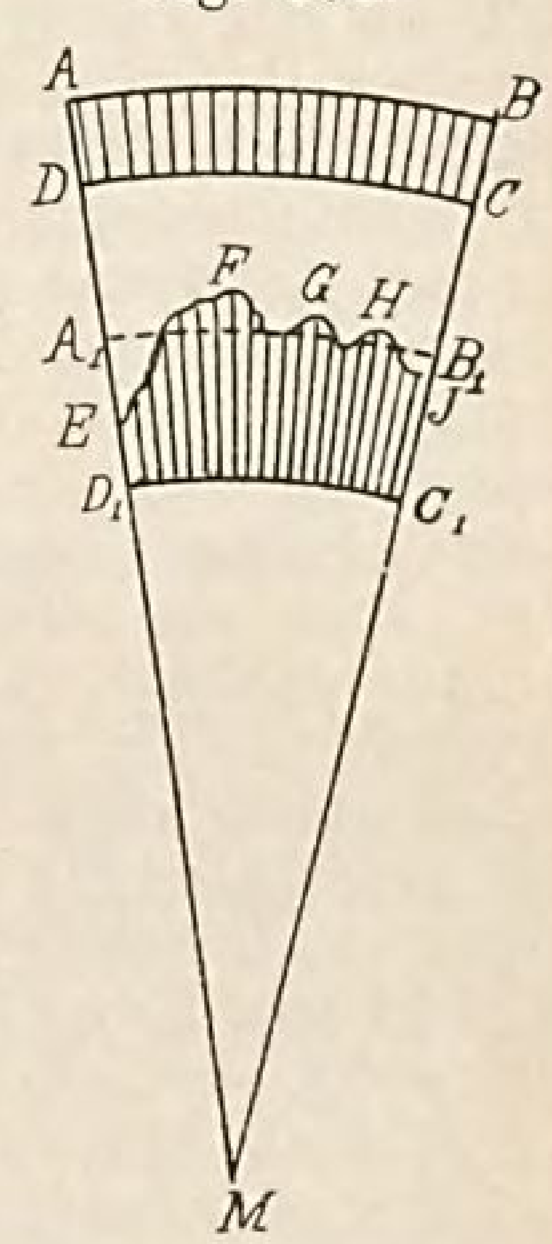
Wir können dieselbe die Kontraktions- oder Schrumpfungstheorie nennen, weil ihr höchst einfacher Grundgedanke dieser ist: Die im kalten Weltraume frei schwebende Erdkugel muss sich durch Ausstrahlung stetig abkühlen (I, S. 101, 328), und da sie infolgedessen auch stetig an Volumen verliert, so müssen die auf ihrer Oberfläche untergebrachten Massen Störungen ihres Zusammenhanges erfahren. So trefflich diese umfassende und von zahlreichen neueren Geologen, unter denen Heim mit einem fundamentalen Werke [129] an der Spitze steht, konsequent ausgebaute Theorie die Thatsachen auch darzustellen scheint, so wäre es doch verkehrt, die von anderer Seite aufgestellten und nach der Ueberzeugung ihrer Urheber sich dem Sachverhalte noch besser anpassenden Hypothesen übergehen zu wollen. Es sind dies die Expansionstheorie von Mellard Reade, die Gleitungstheorie von Reyer, die isostatische Theorie von Dutton und endlich, als neueste, die Gewölbetheorie von Rothpletz. Es wird unsere Aufgabe sein, diese verschiedenen Auslegungen des Buches der Natur auf ihren wesentlichen Inhalt zu prüfen.

a) Die Schrumpfungstheorie. Im Inneren eines Körpers, der sich fortwährend abkühlt, müssen Spannungserscheinungen aller Art obwalten. Denken wir uns also irgend einen Punkt, so wirken auf ihn Kräfte in grösserer Anzahl, die wir uns aber, wie die Statik lehrt, sämtlich auf eine resultierende Kraft und auf ein Kräftepaar zurückgeführt denken können. Das letztere bewirkt eine Drehung, und dass innerhalb der Erdkruste Drehbewegungen vorkommen können, das ist uns oben (S. 847) zur Gewissheit geworden, indem wir allerdings zugleich die Wahrnehmung machen konnten, dass Torsion nur in einzelnen Fällen, keineswegs aber regelmässig an der Herausbildung der beobachteten Dislokationen mitgewirkt hat. Wir nehmen mithin als Regel nur das Vorhandensein der resultierenden Kraft an, legen durch diese und den Erdmittelpunkt eine (vertikale) Ebene und zerlegen sodann die Kraft in zwei Komponenten. Die eine dieser Kräfte hat eine radiale, die andere Komponente hat eine dazu senkrechte, also laterale Richtung, und zwar ist im letzteren Falle, je nach der Richtung, Zug- oder Druckspannung vorhanden. Wie sich der mathematischen Analyse Hergesells [130] zufolge beide Gattungen von Kräften verteilen, ist früher einmal (I, S. 358) Gegenstand der Erörterung gewesen. Wenn nun ein radialer Zug nach unten allein wirkt, so ist ein Bruch die Folge, und es kommt auf die Anordnung der Zugkräfte an, um entweder einen linearen Bruch, d. h. eine Verwerfung, oder einen zweidimensionalen Bruch, d. h. einen kesselförmigen Einbruch, entstehen zu sehen. Lateraldruck bringt Faltung oder bloss Fächerstruktur zuwege. Wenn endlich beide Aktionen sich kombinieren, so ergeben sich jene verwickelteren Dislokationen, die uns (vgl. S. 852) gleichfalls nicht mehr unbekannt sind. Suess, der die tektonische Statik gründlichst erörtert [131], hielt von Anfang an daran fest, dass vertikal aufwärts gerichtete Bewegungen, Hebungen, niemals die Folge der internen Gleichgewichtsstörungen sein könnten; dies geht entschieden zu weit und hat der ganzen Doktrin, welche recht wohl auf diese äusserste Konsequenz verzichten kann, besonders heftige Gegnerschaft eingetragen [132]. In der That hat man sich auch seitdem genugsam überzeugt, dass ohne die Annahme von Hebungen manche Erscheinungen nicht zu erklären sind. Aus den alten Strandlinien im Bereiche der kanadischen Seen (vgl.

S. 325), die nicht durchweg parallel zum gegenwärtigen Wasserspiegel verlaufen, schloss man auf eine nicht allerorts gleiche Auftreibung des Landes. „Amerikanische Forscher“, so berichtet Penck [133], „sprechen daher ganz zuversichtlich von grossen Hebungen des Landes, einem ‚Wharping‘, Verbiegen der Erdkruste.“ Ebenso überzeugten wir uns, dass eine Aufblähung des skandinavischen Schildes (S. 585) für mindestens sehr wahrscheinlich gehalten werden muss, während allerdings Suess [134] (S. 582) die Meeresumsetzungen hauptsächlich durch den Satz, „der Erdball sinkt ein, das Meer folgt nach“, erklären zu können gedachte. Wir werden die Kausalität der allfallsigen Hebung nochmals berühren, wenn wir zuvor die mechanischen Bedingungen der intrakrustalen Dislokation noch etwas genauer kennen gelernt haben werden. Neben den Arbeiten von Leconte [135] und Heim [136], welche letztere der Popularisierung oder auch Einzelausführung gewisser im Hauptwerke (s. o.) niedergelegter Ideen dienen, sind auch die übersichtlichen Darstellungen v. Czernys [137] und Toulas [138] für diesen Zweck verwertet worden.

Die Ansicht Heims, welcher die Mehrzahl der auf dem Gebiete der Geodynamik thätigen Gelehrten zugethan ist, geht dahin, dass infolge der gewaltigen tektonischen Störungen, welche den Abkühlungsprozess begleiteten, kein Gesteinsteilchen seine ursprüngliche Lage gegen die benachbarten Teilchen unverändert beibehielt, sondern dass überall interne Verschiebungen statthatten, ohne dass doch im allgemeinen — auf Ausnahmefälle ist oben (S. 847) hingewiesen worden — der Zusammenhang aufgehoben worden wäre. In diesem Sinne kann von mechanischer Gesteinsmetamorphose gesprochen werden, die man wohl auch, um sie von dem durch Hitzewirkung charakterisierten Kontaktmetamorphismus (I, S. 389) zu unterscheiden, regionalen Metamorphismus genannt hat. Die Notwendigkeit solcher innerer Zerrüttung lehrt nachstehende Ueberlegung. M (Fig. 192) sei der Mittelpunkt des Erdballes, ABCD ein noch ungestörtes Rindenstück, und durch eine akute Abkühlung — denn so stetig der Prozess fortschreitet, werden wir ihn uns doch in eine Summe von Einzelvorgängen zerlegt denken dürfen — ist die Basis CD in die Lage $C_1 D_1$ gelegt. Auf letzterer muss also jetzt, während doch $C_1 D_1 < CD$ ist, die nämliche Masse Platz finden, welche zuvor durch den Raum ABCD verteilt war, und da eben diese Masse nicht aus plastischem Stoffe bestand, der sich ohne weiters in die neue Form $A_1 B_1 C_1 D_1$ (= ABCD) einzuordnen vermochte, so fanden Faltungen und wohl auch Zerreissungen statt, als deren Konsequenz wir die neue Oberfläche EFGHI vor uns sehen. Dass ein solcher Gewaltakt auch ungeheure Wärmeentwickelung auslösen und zu vulkanischen Eruptionen Veranlassung geben kann, ist von uns früher schon (I, S. 425) hervorgehoben worden. So denkt sich auch Reusch [139] die Ausquetschung der während der Metamorphose aufs äusserste erhitzten Massen.

Fig. 192.



Allerdings bedarf ein wichtiger Punkt hiebei noch sehr der Aufhellung: Kann eine solche Umformung anscheinend starrer Gesteinslagen ohne eigentlichen Bruch vor sich gehen? Auch wer die Meinung, dass dies möglich sei, nicht teilt, braucht darum noch kein grundsätzlicher Gegner der Kontraktionstheorie als socher zu sein, denn derselbe Schlusseffekt kann ebenso, wie durch die bruchlose Umformung, auch durch die Umformung mit Brüchen und nachherige Wiederverkittung der getrennten Stücke erreicht werden. Dieser Seite der Alternative ist ein rühriger Vertreter in Stapff [140] erstanden, der auch auf die wichtige Rolle, die der Bergschweiss, die Gebirgsfeuchtigkeit (S. 794) in der bezüglichen Angelegenheit zu spielen berufen sei, hinwies. Die hydrostatischen Gesetze allseitiger Druckverbreitung glaubte er lediglich bei pulverisiertem, nicht aber bei festem Gesteine als wirksam zugestehen zu können. Indessen hat doch die Technik der neuesten Zeit praktisch gezeigt, dass Körper von anscheinend sehr hohem Starrheitsgrade sich unglaubliche Deformationen gefallen lassen, ohne der Kohärenz ihrer Teilchen verlustig zu gehen. Gerade durch Auswalzung — und deswegen erscheint die Anwendung dieses Wortes (S. 849) auf die Verdünnung der Faltenschenkel gerechtfertigt — haben die Gebrüder Mannesmann in Rem-

scheid und Duisburg Röhren ohne Naht hergestellt, welche vor den geschweissten den Vorzug ungleich grösserer Haltbarkeit besitzen; wenn also sogar ein Metallblock durch geeignete Inanspruchnahme seitens zweier Schrägwalzen so deformierbar gemacht wird, dass er sich, wie sich die Ingenieure ausdrücken, „die Haut über die Ohren ziehen“ lässt, so ist bei hochgradig erwärmter Gesteinsmasse ähnliches wohl auch nicht ausgeschlossen. Pilar [141] ging deshalb gewiss einem richtigen Grundgedanken nach, als er versuchte, verschiedene Strukturen als Ergebnis einer wechselnden Kombination von Druck und Walzung aufzufassen.

Wir haben jedoch eines besonders unterstützenden Momentes der bruchlosen Faltung bisher noch keine Erwähnung gethan, welchem wir deshalb jetzt erst recht unser Augenmerk zuwenden müssen. Damals, als die heutzutage unserer Beobachtung zugänglichen Gebirgsteile der Einwirkung der tektonischen Kräfte zugänglich waren, standen sie unter hohem Drucke, denn über ihnen lagerten noch mächtige Gebirgsmassen, die seitdem durch Erosion und Denudation weggeschafft worden sind. Darüber, dass die Erdgebirge noch im Tertiärzeitalter weit höher als gegenwärtig waren, werden wir weiter unten (in §. 9) noch Untersuchungen anzustellen haben. Fels unter hohem Drucke geht aber aller Wahrscheinlichkeit nach in jenen latent-plastischen Zustand über, den wir als einen der Normalzustände im Inneren der Erde definieren zu dürfen glaubten (I, S. 352, 359), und eben durch die allseitige Erörterung der Eigenschaften dieses Ueberganges zwischen festem und flüssigem Aggregatzustande hat Heim die Schrumpfungstheorie von einer der bedenklichsten Schwächen befreit, welche ihr dem Anscheine nach anhafteten. Jetzt wirkt nämlich, wie dies Bauschingers strenge Rechnung [142] bestätigt, einseitiger Druck so, dass er sich nach allen Seiten gleichförmig fortpflanzt, und dieser allseitig wirkende Druck lässt, wie Baltzer [143] scharfsinnig bemerkt, den Molekeln Zeit, sich in den neugeschaffenen Lagerungs- und Kohärenzverhältnissen wechselseitig zu assimilieren. Die Lehre von der latenten Plastizität wird solchergestalt durch viele und gute Gründe gestützt, allein es fehlt auch nicht an solchen, welche deren Richtigkeit bezweifeln. Ein solcher Gegner war u. a. F. Pfaff [144], und neuerdings lehnt Rothpletz diese Erklärung als eine fiktive ab, wesentlich deshalb [145], „weil der experimentelle Beweis ausblieb“. Wir möchten indessen meinen, dass die Versuche von Tresca, Violle, Colson, Cantoni, Grunmach und ganz besonders von Kick [146], deren früher ausführlichere Erwähnung gethan worden ist, nicht unerheblich dazu beigetragen hätten, zu beweisen, dass unter dem physikalischen Gesichtspunkte die Plastizitätshypothese keinerlei Ungereimtheit in sich schliesse. Wer sich aber bloss auf den geologischen Standpunkt stellt, dürfte noch weniger Anlass haben, jene grundsätzlich zu verwerfen.

Ueber die Mechanik des Faltungsaktes selbst sind die Anschauungen noch keineswegs vollkommen geklärt; insbesondere macht Bittner [147] darauf aufmerksam, dass v. Richthofen [148] und Suess [149] den Vorgang verschieden interpretieren. Ersterer hält dafür, dass die einzelne Falte innerhalb des Bildungsraumes der gefalteten Gesteinslagen verbleibe, während der Wiener Geologe eine Hinauswälzung der Falte auf das Vorland für wohl möglich erachtet. Die Suesssche Annahme leitete auch Schardt bei dessen Betrachtungen [150] über die Entstehung der Westalpen, und auch in Pencks [151] Einteilung eines jeden Faltengebirges in eine ungefaltete starre Scholle, eine eigentliche Faltungs- und eine Austönungszone — einer von Loewl [152] nicht als allgemein zutreffend anerkannten Gruppierung — lässt sich der Einfluss jener Hypothese nicht verkennen. Gewisse mechanische Schwierigkeiten machen sich geltend, wenn man annimmt, dass eine solche Aufwälzung, die doch nur durch einseitigen Lateralschub veranlasst sein kann, die Regel bilde, denn die Faltung wird doch zunächst immer durch zwei gegeneinander wirkende Tangentialkräfte bewirkt gedacht werden müssen.

So gewaltig auch die Kraftentfaltung war, welche zur Auffaltung eines grösseren Kettengebirges führte, und so sicher es uns auch erscheint, dass jeder derartige Akt den Charakter einer geologischen Katastrophe an sich getragen haben muss, so bedurfte es doch, um eine solche Veränderung im Angesichte der Erde herbeizuführen, kaum einer sehr namhaften Verkürzung des Erdhalbmessers. Man kann dies nachweisen, wenn man mit Heim [153] sämtliche Längsgebirge ausgeglättet und das so erhaltene Material gleich-

mässig über die ganze Erdoberfläche verteilt denkt. War r der Radius nach den betreffenden Kontraktionen, so ist, wenn man mit ρ denjenigen vor Eintritt der Dislokationen und mit V das Gesamtvolumen fraglicher Gebirge bezeichnet, $4r^2\pi(\rho - r) = V$, und die Kontraktionsgrösse ist durch $\rho - r = V : 4r^2\pi$ gegeben (s. I, S. 363). Auf eine solche Voraussetzung sich stützend, kommt Heim (s. o.) zu dem Resultate, dass die Grösse $2(\rho - r)\pi$ für die Bildung der Alpen 120 und für die Bildung des Jura sogar nur 5 km betragen habe; gewiss geringe Linearwerte, verglichen mit einem Erdhalbmesser von 6370 km (I. S. 158). „Schätzen wir die Faltung der anderen vom Meridiane der Zentralalpen geschnittenen Gebirge noch in ihrem Zusammenschube ab, so finden wir, dass die Umfangsverkürzung durch die gesamte Gebirgsbildung bis jetzt noch nicht ganz 1 Prozent betragen hat.“ Die moderne Morphometrie (Kap. II, §. 5) würde die Ermittelung der Grösse V noch etwas genauer vorzunehmen gestatten, als es früher anging, aber es würde auf diesem Wege nur eine Detailkorrektur zu erreichen sein. Die Frage, ob die Abkühlung des Erdballes Radienverminderungen des hier in Rede stehenden Betrages liefere, scheint auf Grund der Darwinschen Rechnungen [154] bejaht werden zu sollen. — Da wir von der in Abt. III, Kap. II ausführlich begründeten Vorstellung ausgehen, dass im Erdinneren sämtliche denkbaren Aggregatzustände der Materie in lückenlosem Uebergange vertreten seien, so fällt O. Fishers Bedenken [155], welches sich gegen die ungleichartige Zusammenziehung des internen Magmas und der starren Erdrinde richtet, ganz von selbst hinweg, und sein zweiter Einwand [156], dass die der Oberfläche benachbarten Felspartien durch den Lateralschub zertrümmert werden müssten, kann nach dem, was über Stapffs Auffassung (S. 859) mitgeteilt ward, gleichfalls nicht als ein durchschlagender anerkannt werden, auch wenn man sich mit den Prämissen von Fishers Kalkul einverstanden erklärt. Fisher hatte seine Polemik speziell gegen Wallace [157] gerichtet, welcher die Schrumpfungstheorie befürwortete. Wenn Habenicht [158] seine eigene Gegnerschaft hauptsächlich in dem Hinweise auf Fisher und Mellard Reade begründet erachtet, so ist ihr durch die hier vorgetragene Deutung der Vorgänge ebenfalls der Boden entzogen.

Dem Geologen liegt auch die Beantwortung der Frage ob, in welchen geologischen Zeitraum die Aufwölbung eines Längsgebirges zu verlegen ist. Wenn gewisse Schichten älteren und neueren Datums ungefaltet blieben, während die dazwischen gelagerten von einer Faltung betroffen wurden, so gibt die Paläontologie den erwünschten Aufschluss. So reichte die Faltung der Alpen noch in die Miozänperiode (S. 679) hinein, ohne dass man deshalb die peremptorische Behauptung aufzustellen berechtigt wäre, die ganze Alpenkette sei ein Produkt der Tertiärzeit. Hören wir Neumayr-Uhlig [159], so müssen wir zugestehen, dass schon vor dem Eindringen des Oberkreidemeeres wahrscheinlich an vielen Orten eine gefaltete Oberfläche existierte. Immerhin war der Faltungsprozess um die Mitte der Tertiärzeit wohl ein besonders lebhafter, und in Italien und Griechenland findet man sogar noch gefaltete Pliozänstraten vor. Und nicht unmöglich erscheint es, dass selbst das Diluvium Nachwehen der gigantischen Faltungen früherer Epochen erlebte.

b) Die Expansionstheorie. Dieselbe, von Hutton [160] und Mellard Reade [161] ausgebildet, stimmt mit der vorigen insofern überein, als sie eine bruchlose Faltenbildung zugibt; die treibende Kraft dagegen ist jetzt eine andere. Es wird angenommen, die Temperaturerhöhung gegen innen sei der Dicke einer Schicht direkt proportional, und die sonach in mächtigen Lagen erzeugte Erwärmung bewirke eine gleichmässig nach drei orthogonalen Richtungen sich bethätigende Auftreibung der Massen. Hier ist schon die theoretische Begründung eine unzureichende, denn von der eigenartigen Verteilung der Temperatur in Sedimenten, welche Mellard Reade, teilweise übereinstimmend mit Dana und De Lapparent, supponiert, vermag die Theorie keine Rechenschaft zu geben. Dazu kamen andere Misslichkeiten, deren v. Zittel [162] gedenkt. „Die Theorie betrachtet die Gebirgsbildung als eine rein lokale, engbegrenzte Erscheinung, und in diesem Umstande, sowie in der ungenügenden Erklärung, wie durch Summierung geringfügiger Ausdehnungen im Laufe der Zeit so hohe Gebirgsketten entstehen können, beruht ihre Schwäche.“

c) Die Gleitungstheorie. Der Begründung dieser vielfach originellen Lehre widmet sich ein wesentlicher Teil einer auch sonst wertvollen Schrift von Reyer [163].

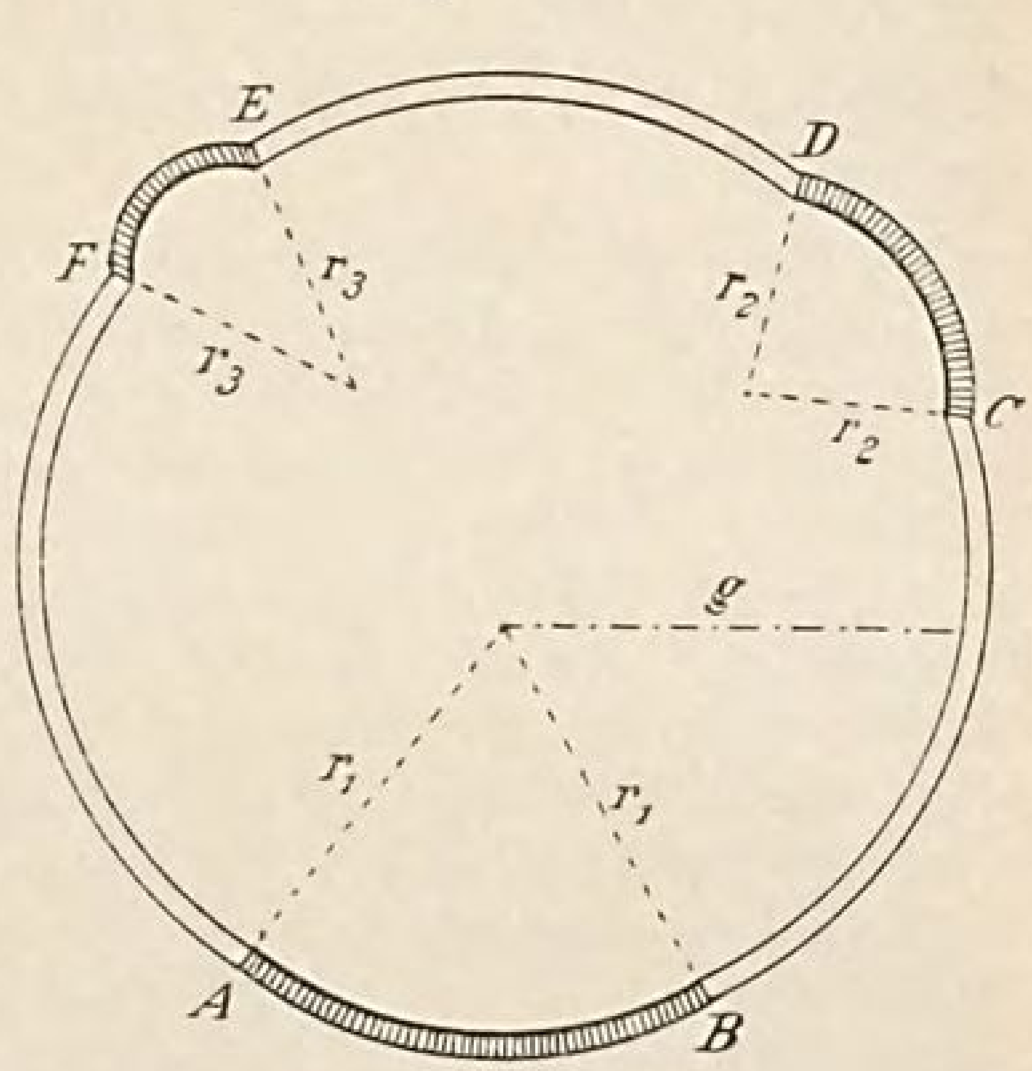
An die Stelle der Faltung tritt Gleitung auf schiefer Ebene, verbunden mit plötzlicher Anstauung und Aufwölbung der gleitenden Massen. Doch ist Reyer nicht so einseitig, die wirkliche Faltung vollständig zu leugnen, und nur in der Mehrzahl der Fälle ist seiner Meinung nach das, was die Geologie gemeinhin als Ergebnis eines Tangentialschubes interpretiert, ein Gleitphänomen [164]. Wir sind weit entfernt, den Reyerschen Experimenten, auf die §. 8 zu sprechen kommen wird, die Beweiskraft abzustreiten, halten aber dafür, dass Gleitfalten, wenn wir uns dieses Ausdruckes bedienen dürfen, nur in kleinerem Masstabe vorkommen können, und dass die ungeheure Mannigfaltigkeit der Faltenbildungen, welche uns §. 3 vorführt, nicht einzig und allein durch den langsamen Fluss plastischer Massen erklärt werden kann.

d) Die isostatische Theorie. Urheber derselben ist der in verwickeltem Terrain vorzüglich geschulte amerikanische Geologe Dutton [165], und durch Futterer [166] haben deutsche Interessenten einen sehr guten Einblick in den Gedankengang dieses Forschers erhalten. Als Gegner der „Contractional Hypothesis" legte sich Dutton, da doch die Erdkruste nicht homogen, sondern aus sehr verschieden dichten Stoffen zusammengesetzt ist, die Frage vor: Wie und mit welcher Annäherung entspricht die äussere Hülle der Erde den Bedingungen der Isostasie, d. h. des vollkommenen Gleichgewichtszustandes? Jede plastische, sich selbst überlassene Masse besitzt eine isostatische Oberfläche; dies ist für eine homogene, rotierende Oberfläche ein zweiachsiges, unter Umständen auch ein dreiachsiges Ellipsoid (I, S. 152, 159); für eine heterogene, gleichfalls mit Achsendrehung begabte Flüssigkeitsmasse hingegen fehlt der Oberfläche die geometrische Regelmässigkeit. Die schwereren Massen verursachen Einsenkungen, die leichteren Wölbungen an der Aussenseite. Aus dem Bau der grossen nordamerikanischen Kettengebirge und Plateaux scheint nun zu folgen, dass Landsenkung und Landerhöhung durch Sedimentablagerung stets nahezu gleichen Schritt miteinander hielten, indem die Sedimentierung das seichte Wasser bevorzugt und gerade die allermächtigsten Schichten des pelagischen Gepräges entbehren. Man kann also sagen, es seien isostatische Kräfte vorhanden, durch welche hier der Massenverlust, dort der durch Auflagerung neu hinzutretende Mehrdruck äquilibriert werde; kleine Aufschüttungen, wie sie vulkanischen Ausbrüchen entsprechen, brauchen natürlich nicht jederzeit durch isostatische Einsenkungen kompensiert zu werden. Die neueren Pendelmessungen, welche in der That Substanzdefekte unterhalb der grossen Kettengebirge konstatiert haben (I, S. 192), nimmt Dutton als Stützen seiner Anschauungen in Anspruch. Der Seeboden ist belastet, während dem Festlande ununterbrochen Denudationsverluste zugefügt werden, und so bildet sich eine gewisse Tendenz der Fortführung litoraler Sedimente gegen das Innere der Kontinente heraus, worin Dutton, hierin dem Gedankenkreise Reyers (s. o.) unbewusst nahe kommend, die wahre Ursache des Faltenwurfes der Erdrinde anerkannt sehen will. Es erkläre sich so, betont er, zufriedenstellend sowohl das oft zu beobachtende Aufsteigen von Längsgebirgen an den Festlandrändern und deren Fehlen in Gebieten von schwach entwickelter Sedimentation, als auch der relative Parallelismus benachbarter Ketten.

In den Vereinigten Staaten hat die isostatische Lehre zahlreiche Freunde gewonnen [167], und neben Becker [168] haben besonders Willis und Hayes deren Richtigkeit an Spezialfällen zu erläutern gesucht [169]. Die Alleghanies und die südfranzösischen Alpen lieferten besonders beliebte Beispiele. Allein bei Neumayr-Uhlig, wo der geistvolle Charakter der Duttonschen Hypothese bereitwilligste Anerkennung findet, wird zutreffend daran erinnert [170], dass gegen sie zum Teile die nämlichen Bedenken bestehen, wie gegen die unter b) besprochene Expansions- oder, wie es hier heisst, Thermalhypothese. Mächtige Schichtfolgen aller Perioden sind bis zum heutigen Tage ungefaltet geblieben, und zwar gerade solche, die in ihrer Kompaktheit die Faltung herauszufordern schienen, wogegen weit minder mächtige, zumal känozoische Schichten dem Prozesse unterlagen. Die Alpen gestatten nur sehr teilweise die Anwendung der isostatischen Theorie, grossenteils aber sind mit dieser unsere europäischen Verhältnisse nicht in Einklang zu setzen. Auch Penck erinnert [171], indem er an B. Studers einschlägige Arbeiten [172] anknüpft, daran, dass die Akkumulation die Senkung nicht notwendig bewirkt zu haben braucht, sondern selbst oft als eine Folgeerscheinung der letzteren anzusehen ist.

e) Die Gewölbetheorie. Wir bedienen uns dieser vielleicht nicht ganz konkludenten Bezeichnung, welche auch nicht auf den Urheber selbst zurückgeht, lediglich aus Gründen der Uebersichtlichkeit. Schon anlässlich seiner Studien [173] über den Bau der östlichen Algäuer Alpen kam Rothpletz auf Ansichten, welche der herrschenden Theorie nicht entsprachen, und auch die im Karwendelgebirge häufigen Emporpressungen, welche die geologische Aufnahme dieses höchst verwickelten Alpenzuges ergab [174], wollten sich dem Systeme nicht recht einfügen. Beobachtungen in Hochschottland und in den Glarner Alpen, deren im nächsten Paragraphen Erwähnung zu thun sein wird, zeitigten eine detaillierte Erklärung des Gebirgsbildungsprozesses [175], welche von jeder anderen, die wir bereits kennen lernten, beträchtlich abweicht, die aber allerdings so sehr eine genaue Kenntnis der speziellen Studiengebiete des Autors voraussetzt, dass der Fernerstehende der Deduktion nicht ganz leicht folgen konnte. Deshalb war es erwünscht, dass die Beschreibung des grossartigen Profiles, welches Rothpletz (s. o.) dem natürlich der Neuzeit nicht mehr genügenden ersten Versuche dieser Art von v. Hauer [176] substituiert hatte, mehr systematisch auf das Hauptproblem einging [177]. Daran, dass nur seitlicher Druck die Falten hervorgerufen haben könne, wird festgehalten. Die Erdkruste wird aufgefasst als ein ringsum geschlossenes Kugelgewölbe vom Radius ρ, in welches, wie Fig. 193 darstellt, die Kontinente AB, CD und EF als Gewölbekuppeln von kleinerem Radius (r_1, r_2 und r_3) eingeschaltet sind. Das „Kontinentalgewölbe“ wird vom „Geoidgewölbe“ getrennt; diese Hilfshypothese bezeichnet Futterer [178] als des strengen Beweises entbehrend, und thatsächlich würde allein aus dem Verlaufe der Geoidfläche, wie er uns (I, S. 225) mit seinen meist minimalen Lotablenkungen bekannt geworden ist, eine solche Ausnahmestellung der Kontinente nicht notwendig folgen. Da, wo beide Gewölbe aneinander stossen, wird die stets vorhandene Spannung, die sonst nur radiale Bewegungen verursacht, sich in ausgesprochene Faltung umsetzen. Hebungen, Senkungen und allenfalls Kontinentalschwankungen würden die Norm, Auffaltung würde die den Kontinentalrändern angepasste Bewegung, also mehr einen Ausnahmefall repräsentieren. Wir wollen nicht vergessen, dass diese Ränder von den Faltengebirgen auch wirklich bevorzugt werden, und dass J. Walther [179] erstere als den Ort besonders zahlreicher Flexuren erkennen zu können glaubte, welche ja (vgl. S. 850) von uns nur als Falten besonderer Art angesehen worden sind. Dass die Gewölbetheorie manche sehr ansprechende Züge besitzt, wird weiter unten (in §. 7) noch deutlicher hervortreten, aber deren Fundament erscheint uns nicht so gesichert, um deswegen von einer Erklärungsweise abzustehen, welche unseres Dafürhaltens der grossen Mehrzahl aller erklärungsbedürftigen Erscheinungen am meisten gerecht wird.

Fig. 193.



Die Schrumpfungstheorie, welche die Faltengebirge als Runzeln im Antlitze der alternden, mehr und mehr sich verkleinernden Erde definiert, hat den Vorzug, mit einer Thatsache zu stehen und zu fallen, welche nicht hypothetisch, sondern absolut gewiss ist. Denn dass stete Wärmeabgabe, der kein irgendwie beschaffener Ersatz entgegenwirkt, da ja die Insolation nur eine äusserst dünne Aussenschicht trifft (I, S. 333), zur fortschreitenden Abkühlung und Zusammenziehung führen muss, ist eine unbezweifelte physikalische Wahrheit. Das Vorhandensein einer latent-plastischen Kugelschale steht allerdings nicht gleich fest, aber es sprechen doch auch dafür triftige Gründe, und wenn man das Bestehen eines solchen Uebergangszustandes zwischen Starrheit und Fluidität einräumt, so können die verschiedensten Faltungszustände unschwer begriffen werden. Mit Rothpletz kann man

der Meinung sein, dass gewisse Krustenlinien die Faltung besonders begünstigen; mit Reyer und Dutton (s. o.) kann man auch der Gleitfalte und der natürlichen Gleichgewichtsbewegung eine gewisse Geltung zuschreiben, denn was schon wiederholt (S. 656, 811) betont wurde, trifft auch hier zu: Es wird niemals gelingen, das Chaos der tektonischen Vorkommnisse aus einer und nur einer Ursache heraus zu erklären. Unser Schlussurteil trifft sonach völlig unabhängig mit demjenigen Philippsons zusammen. Nachdem derselbe auseinandergesetzt, dass wahrscheinlich alle die schon untersuchten und vielleicht manche noch unbekannte zusammenwirken mussten, um Erdkruste und Oberflächengestalt so zu formen, wie wir beide zur Zeit erblicken, endigt er mit den Worten [180]: „Von allen bisher bekannt gewordenen Kräften scheint aber noch immer die Zusammenziehung des Erdkörpers infolge seiner Abkühlung diejenige zu sein, welche die stärksten und am allgemeinsten verbreiteten Wirkungen hervorzubringen vermag."

Von der unterstützenden Aktion extratellurischer Kräfte glaubten wir absehen zu dürfen. Allerdings hat G. H. Darwin in einer Serie [181] von Arbeiten die Beeinflussung der noch weichen Erdkugel durch die Anziehung der Himmelskörper mathematisch geprüft und ermittelt, dass damals eine gewisse Tendenz zur Bildung zusammenhängender Erhöhungen bestand, und wir können Neumayr-Uhlig [182] nicht ganz recht geben in der Ansicht, dass durch die ausgelöste Flutwelle in der leicht deformierbaren Masse keine Kämme von meridionaler Streichungsrichtung aufgewölbt werden konnten. Wie dem aber auch sei, solch geringfügige Modifikationen des Primordialzustandes mussten gänzlich verschwinden gegenüber den rein terrestrischen Veränderungen eines ungeheuer langen folgenden Zeitraumes. Der Gedanke Darwins ist von Taylor [183] und Winchell [184] noch weiter ausgeführt worden, indem sie namentlich auch Aenderungen der Umdrehungsachse herbeizogen (vgl. Abt. II, Kap. IV, §. 16), und Mather [185] wollte sogar in den geologischen Verhältnissen Nordamerikas Belege für solche Einwirkungen ausfindig machen, allein wir sind überzeugt, dass allen diesen Faktoren, auch wenn man sie theoretisch als Mitwirkende in dem grossen Spiele der Natur anerkennt, viel zu schwach sind, um neben weit kräftigeren Aktionen überhaupt in die Wagschale zu fallen. Aus gleichem Grunde, und weil wir schon bei früherer Gelegenheit (I, S. 423) ihnen die Existenzberechtigung absprechen mussten, lassen wir auch die Rutschungstheorien von v. Petrinò [186] und Wettstein [187] unerörtert. — Hingegen kann auch der Anhänger der Schrumpfungshypothese zugeben, dass eine noch gründlichere Kenntnis des Verlaufes der Isogeothermen (I, S. 330) in einer durch stete Auflagerung oder Denudation oberflächlich deformierten Schicht, wie denn dieses Moment von Mellard Reade (S. 858) und De Lapparent [188] als ein sehr einflussreiches betrachtet wird, allseitig anzustreben wäre. Einen wertvollen Anfang damit macht v. Drygalskis Studie [189] über die abkühlende und damit eine Bodensenkung begünstigende Wirkung der Gletscher. Und nicht minder wichtig ist es für die Zukunft, nachdem auch Rothpletz u. a. die wechselnden Druckverhältnisse der Sedimentation u. s. w. in den Vordergrund der zu Dislokationen führenden Vorgänge gestellt haben, für solche Faktoren einen numerisch verlässigen Masstab zu gewinnen. Die Arbeiten von Ricketts [190] dürfen hier genannt werden; des ferneren gehören diejenigen hierher, deren früher (S. 583) bei der Diskussion der Frage einer Verbiegung des Geoides durch Eismassen gedacht ward, denn statt des Eises können ja ebensogut auch andere Deposite in Rechnung gezogen werden. In neuester Zeit hat, hieran anknüpfend, Rudzki [191] ein System von Formeln zur Berechnung der vom Inlandeise bewirkten Geoiddeformation aufgestellt; es liegt nahe, von demselben, natürlich mit den erforderlichen Modifikationen, auch für die hier skizzierten Aufgaben Gebrauch zu machen.

§. 6. Einzelprobleme des Gebirgsbaus. Unter den hunderten schwieriger Fragen, vor welche jede geologische Kartierung (S. 689)

den Forscher stellt, gilt es hier eine Auswahl zu treffen. Es kann sich ja nur darum handeln, gewissermassen Paradigmen zur Lehre von der Gebirgsbildung zu liefern und zu zeigen, dass die geotektonischen und geodynamischen Begriffe, deren Fixierung die letzten Paragraphen sich zum Ziele gesetzt hatten, auch verwickelten Terrainverhältnissen gegenüber sich bewähren, und dass mit ihrer Hilfe Ordnung und Uebersicht in das Wirrsal der Beobachtungsthatsachen gebracht werden kann. Lediglich unter diesem Gesichtspunkte wollen die nachfolgenden Belege gewürdigt sein.

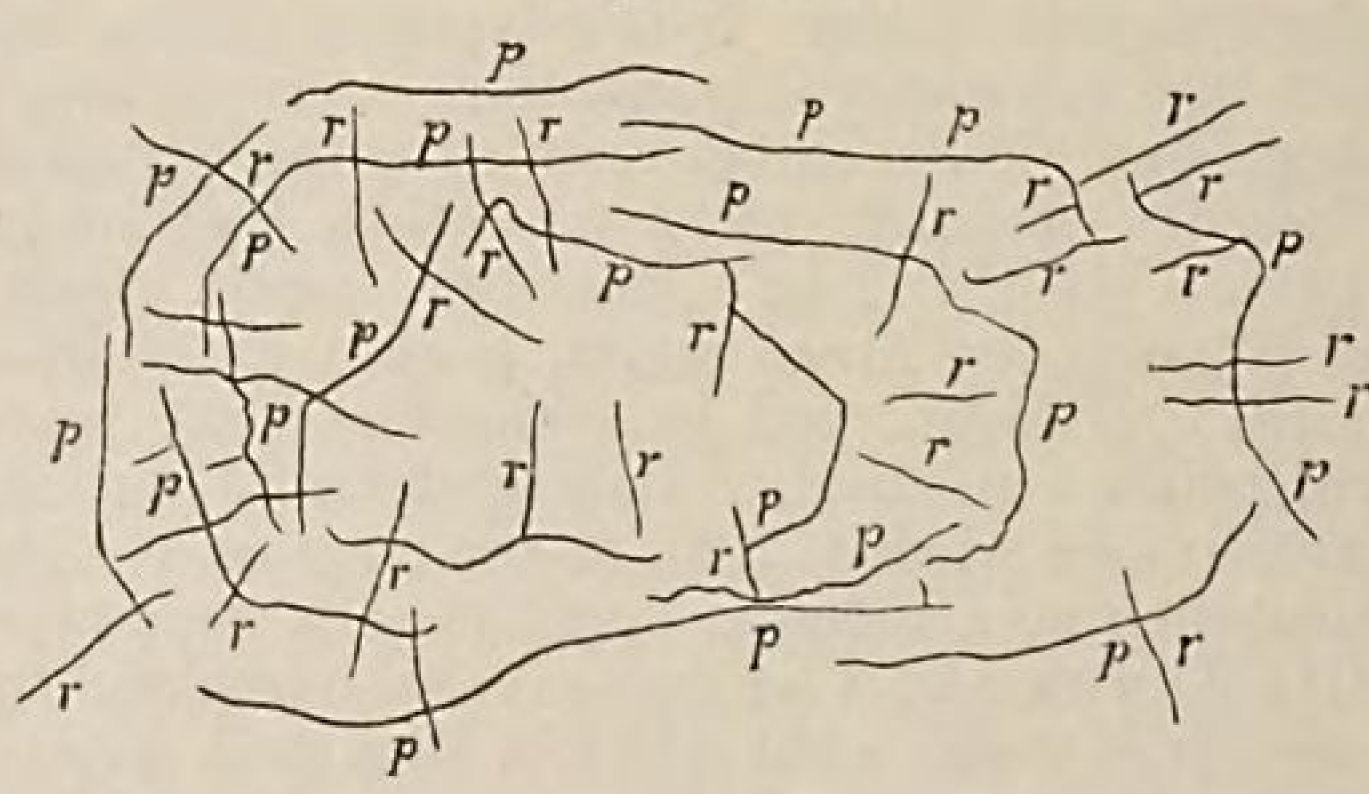
a) Ketten- und Massengebirge. Mit Heim [192] halten wir diesen Gegensatz, dessen die Morphographie ihrerseits (S. 703) zu erwähnen hatte, für einen innerlich, genetisch begründeten. Die Begriffsbestimmung kann folgendermassen erfolgen: War die Krustenbewegung, welche zur Bildung des Gebirges führte, wesentlich eine tangentiale, so ist jenes ein Faltengebirge; wog dagegen ein radialer Zug beträchtlich vor, so resultierte ein nur wenig oder gar nicht gefaltetes, von Sprüngen und Verwerfungen durchsetztes, Horste und Gräben aufweisendes Gebirgsmassiv. Wir führen von Neumayr [193], der eine treffliche Charakteristik der Verschiedenartigkeit beider Gebirgstypen gegeben hat, einige die Ungleichheit eines Alpen- und Schwarzwaldpanoramas kennzeichnende Worte an [194]. Auch im Massengebirge sind die Schichten vielfach aufgerichtet, aber Kammbildung und Terrainformen werden dadurch nicht wesentlich bestimmt; stark denudierte Klötze ragen als stehen gebliebene Pfeiler empor. Dem Kettengebirge dagegen ist, wie jeder Kenner der Alpen weiss, gerade die scharfe Ausprägung der Kammlinien (S. 704) eigen, und jede einzelne Kette ist von der Anordnung der Falten und Störungslinien abhängig. Dass gleichwohl ein ungeübtes Auge mitunter nicht sicher darüber sein wird (S. 703), ob ein gegebenes Gebirge der einen oder anderen Gattung zuzuteilen sein möchte, verträgt sich ganz wohl mit obigen, nur den generellen Eindruck auf Vorbereitete berücksichtigenden Annahmen. Auch können Massengebirge recht wohl [195] in Wahrheit Reststücke eines dereinstigen, nun längst den zerstörenden Kräften zum Opfer gefallenen Kettengebirges von viel bedeutenderer Ausdehnung sein, indem eben innerhalb dieser Teile die radiale Komponente (S. 858) die mächtigere war.

b) Die Gebirgseinteilung v. Richthofens. Von allen modernen Geographen und Geologen hat keiner der sorgfältigen Klassifikation der Bodenformen ein so eingehendes Interesse zugewandt, als wie dies von seiten v. Richthofens und Pencks geschehen ist. Die Gruppen des Erstgenannten [196] sollen zunächst der Besprechung unterstellt werden. Vor allem stehen die tektonischen Gebirge als die Hauptmasse aller Erdgebirge da, und zwar teilen sie sich in Bruch- oder Schollengebirge einerseits, Faltengebirge andererseits — eine Einteilung, welche im Prinzipe sich mit der unter a) abgehandelten deckt. Erstere können wieder Schollenrandgebirge, Flexurgebirge und Horstgebirge sein; den Flexuren weist der Erforscher Chinas einen erheblichen Einfluss auf die Gestaltung der Landoberfläche zu, wenn er bemerkt [197]: „Der gewaltige Zug des Nankóugebirges im Norden von Peking ist eine einzige grosse Flexur, welche vor der karbonischen Epoche gebildet war.“ Faltungsgebirge können homöomorph (ähnlich gebildet) und heteromorph (verschiedenartig gebildet) sein [198], je nachdem die Faltung als das plastisch massgebende oder nur als ein mit anderen tektonischen Faktoren kombiniertes Element auftritt. Im ersteren Falle ist ein zonaler Typus, wie er das Juragebirge der Schweiz auszeichnet, von einem rostförmigen Typus (Rostgebirge) zu unterscheiden, wie er das ganze südöstliche China beherrscht. Es sei beigefügt, dass Supan [199], hierin einen anderen Weg gehend, gerade dem Jura eine rostförmige Gliederung zuschreibt, „bei der sich in verschiedenster Weise Längs- und Querthäler zu einem Furchennetz verbinden, welches das Gebirge nach allen Richtungen aufschliesst“. Heteromorph sind die grossen, bogenförmigen Kammgebirge der Erde, deren beide Seiten sich zumeist asymmetrisch verhalten, indem an der Vorderseite die Stauung ein sozusagen verdicktes Gefüge zuwege gebracht hat, während es an der Rückseite im Zustande grösserer Lockerheit verblieb. Pencks Deutung [200] der Definition v. Richthofens hebt als springenden Punkt derselben den heraus,

dass die homöomorphen Gebirge bloss aus gefaltetem Deckgebirge, die heteromorphen aber noch weiter aus einer Kernzone von Grundgebirge bestehen. Weiterhin stellt v. Richthofen als autonome Typen die Rumpf- oder Abrasionsgebirge (vgl. S. 603), die vulkanischen Ausbruchs- und Aufschüttungsgebirge und die aus Flachböden [201] herauspräparierten Erosionsgebirge auf; mit diesen vier, teilweise schon in Abt. III. Kap. III des ersten Bandes besprochenen Oberflächenformen brauchen wir uns an dieser Stelle nicht weiter zu beschäftigen.

c) Die Gebirgseinteilung Pencks. Vom aufgesetzten Hügellande, welches kein integrierender Bestandteil des Landes, sondern erst durch mehr zufällige Umstände diesem angegliedert worden ist, war oben (S. 700) die Rede. Hier kommt nur das aus anstehendem Gesteine aufgebaute eigentliche Gebirge in Frage. Soweit dasselbe nicht durch Auffaltung entstanden ist, kann es [202] Schichtstufengebirge mit meist terrassiertem Abfalle (Fränkisch-Schwäbischer Jura), Schwellengebirge (Black Hills von Dakotah) und Bruchgebirge sein. Man kann letzteres, da es eben durch zahllose Sprünge in Einzelschollen zerteilt ist, auch Schollengebirge benennen und in ihm wieder als Unterabteilungen Deckschollengebirge und die weit häufigeren Grundschollengebirge unterscheiden. Daneben stehen wieder, als eine Gruppe für sich, die vulkanischen

Fig. 194.

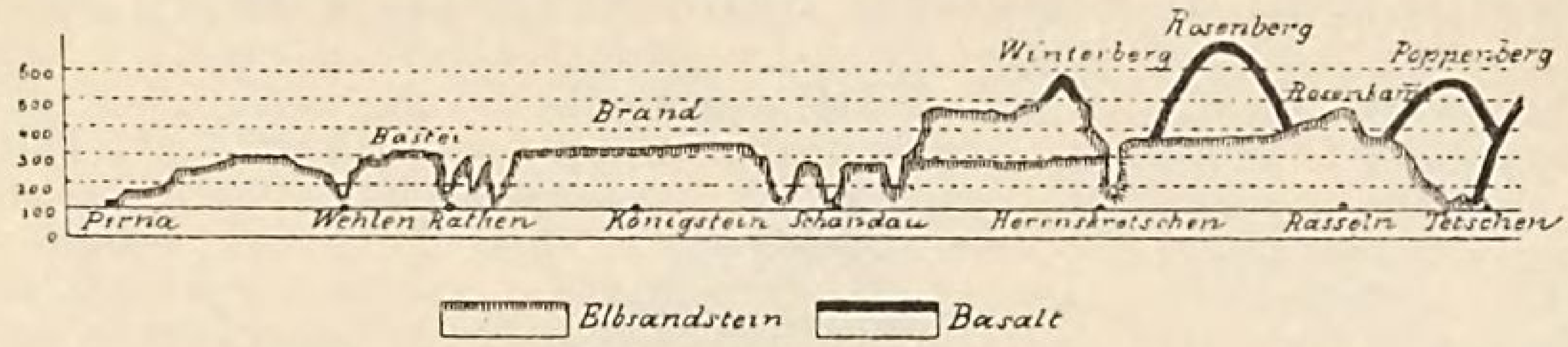


Gebirge. Als einen sehr dankenswerten Abschnitt des Penckschen Werkes wird derjenige [203] von jedem Geographen begrüsst werden, der über die geographische Verbreitung der verschiedenen Gebirgsformen Auskunft erteilt. Gesetzmässigkeiten in der Anordnung der Gebirge, wie sie früher vielfach als vorhanden betrachtet wurden, sind nach Penck [204] nicht nachzuweisen; insbesondere erklärt sich derselbe auch gegen den früher von Krümmel [205] studierten Loxodromismus (I, S. 298) der Gebirgsketten.

d) Bruchsysteme und Spaltennetze. Durch kontinuierliche lokale Auslösungen des Spannungszustandes, aus dem die sich mehr und mehr abkühlende Erdrinde nicht herauskommen kann, geschieht es, dass jedes Krustenstück von einem Sprungsysteme durchsetzt wird, in dessen horizontalem Querschnitte sich zwei orthogonale Kurvenscharen abzeichnen, wie Fig. 194 darstellt. Wir können dieselben als peripherische und konvergierende unterscheiden. Bei jeder geologischen Landesaufnahme werden diese Bruchsysteme verzeichnet und auf ihren Grund geprüft. Speziell für Norwegen nimmt Kjerulf [206], allerdings unter Pencks Widerspruch [207], vier grosse Aggregate von Bruchlinien an, durch deren Lage das Gebirgsrelief Skandinaviens in erster Linie bedingt wäre. Im Libanon legte Diener [208] das normative Spaltensystem fest; das Bruchsystem des Roten Meeres und Judäas ist, teilweise nach den Beobachtungen von Rothpletz [209] auf der Sinaihalbinsel, von Blanckenhorn [210], dasjenige Anatoliens von E. Naumann [211] gezeichnet worden. Faltungen und Bruchränder gehen, weil eben durch erstere sehr häufig der Gesteinszusammenhang gelöst wird, nicht selten Hand in Hand, so besonders bei den heteromorphen Gebirgszügen (s. o.). Uhlig führt dies weiter aus [212], und man kann sich bei der Durchsicht der Beispiele davon überzeugen, dass v. Koenen [213] mit der Behauptung im Rechte ist, die besonders starke Spannung in den Mulden- und Sattellinien einer Falte begünstige die Bruchbildung. Die Abhängigkeit der grossen Bruchlinien der Alpen,

welche auch dem Seismologen (I, S. 446) bekannt sein müssen, vom Faltungsprozesse hat bei Frech [214] eingehende Würdigung erfahren. Zumal die Karnischen Alpen ziehen unser Interesse auf sich [215]. „Im Norden finden wir gefaltete Triasketten in nordalpiner Entwickelung, im Süden die gebrochenen Kalkmassen der südlichen Ausbildung.“ Ueber die durch Bruch entstandenen Senkungsfelder findet man bei Neumayr-Uhlig [216] beste Belehrung. Dass der Querschnitt einer Einsenkung verschieden ausfallen muss, je nachdem einfacher Zusammenbruch oder Faltung die Dislokation bewirkt hat, erläutert Davis [217] an instruktiven Figuren. — Die Grundlage zu einer mechanischen Theorie der Spaltenbildung wurde gelegt von Daubrée, dessen Definitionen uns §. 7 in anderem Zusammenhange vorführen wird. In Ländern von ausgesprochenem Tafelcharakter, wie ihn die Sächsische Schweiz (vgl. S. 702) besonders rein bewahrt hat, kann man die Spalten in ihren verschiedenen Modalitäten am besten kennen lernen. Hettner schildert [218] die massigen Parallelepipeda, in welche das — nur durch gewaltige Basaltintrusionen auch um ein fremdartiges Element bereicherte — Kreide-

Fig. 195.

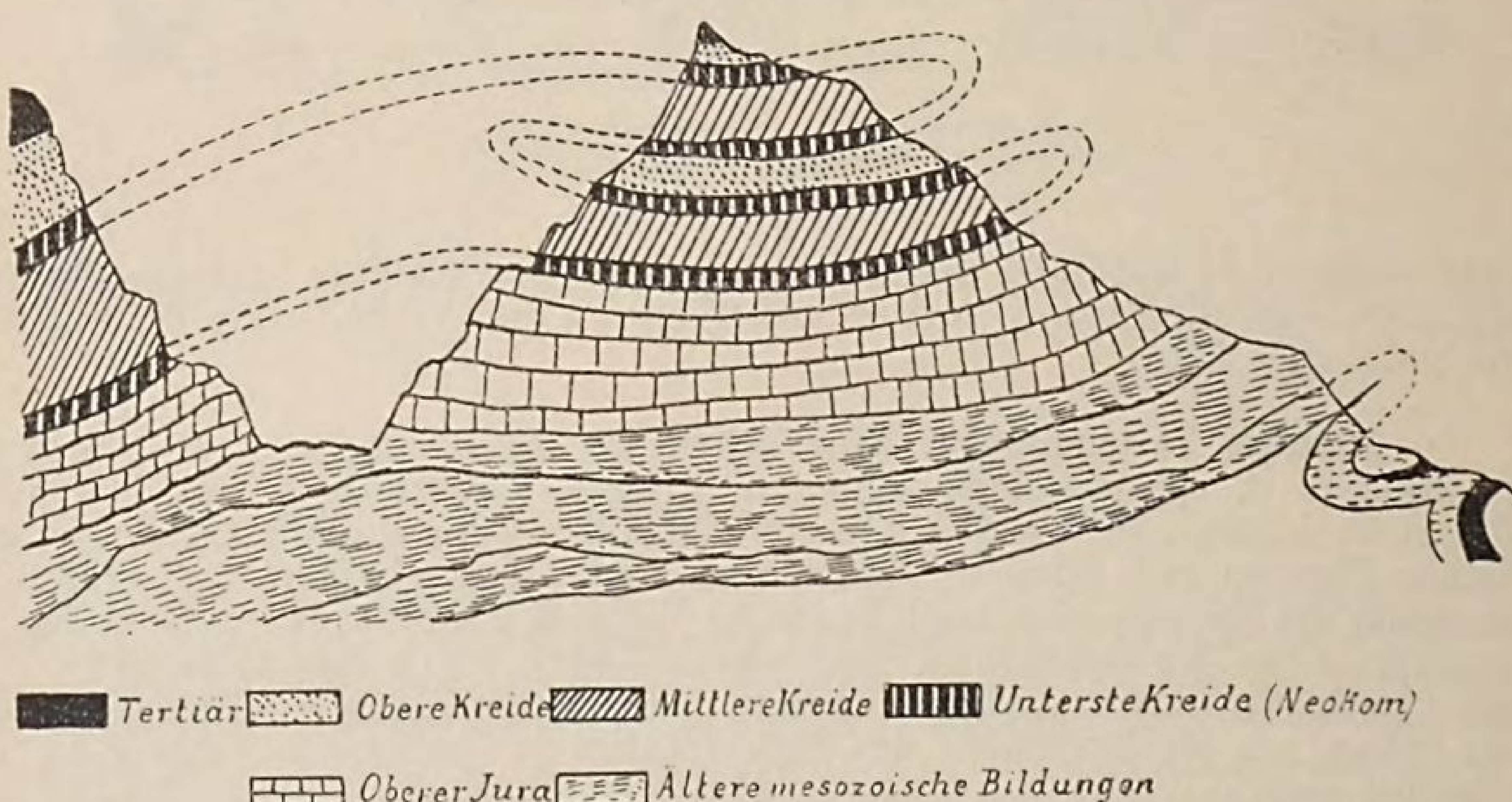


gebirge zerfällt, an der Hand der Daubréeschen Nomenklatur, und aus Fig. 195 ersieht man, dass die Erosion noch relativ wenig an der Verbreiterung der Spaltenklüfte gearbeitet hat.

e) **Anomale Faltenbildung.** Nur selten ist der Feldgeologe so glücklich, die Faltungen in regelmässigem Zuge auf grössere Entfernungen mit dem Auge verfolgen zu können, so wie dies z. B. im Thale des südtirolischen Cismonebaches (zwischen Fonzaso und Primiero) möglich ist. Sehr häufig ist eine mehr zufällige Verdeckung des Faltenwurfes durch Erdreich, Wald, Kulturanlagen; weit schlimmer aber steht es um die Gewinnung eines klaren Bildes, wenn sich tektonische Vorgänge verschiedener Art, tangentiale und vertikale Bewegungen miteinander vereinigt haben, um die Erkenntnis des Sachverhaltes zu erschweren. Zumal da, wo die soliden Urschollen, von Peters [219] als „die relativ stabilen Stellen der Kruste“ bezeichnet, die Faltenbewegung zum gänzlichen oder intermediären Stillstande bringen, werden sich leicht Komplikationen ergeben; gerade in der Nähe solcher Punkte ist auch eine vertikal nach oben wirkende, eine Hebung bewirkende Resultante der gebirgsbildenden Kräfte (vgl. S. 858) leicht verständlich. Wie schwierig z. B. die ideelle Zurückführung des Karwendelgebirges der geologischen Gegenwart auf die Zeit ist, da sich die mesozoischen Sedimente niederschlugen, lehren die Profile von Rothpletz [220] zur Genüge. Gar nicht weit von dieser Gebirgsgegend entfernt, in den Bayerischen Alpen nördlich von Partenkirchen, gestalten sich die Verhältnisse vielleicht noch krauser. Heimbach [221] ermittelte da eine Doppelfalte, die aber nur schematisch rekonstruiert werden kann, weil das Mittelstück der südlichen Falte durch unregelmässige Einschaltung einer anders streichenden Dolomitmasse unkenntlich gemacht ist. — Durch diese Bildung sind wir ganz von selbst an das vielleicht merkwürdigste aller alpinen Gebiete erinnert worden, an dasjenige der berühmten Glarner Doppelfalte. Von Heim [222] und Baltzer [223] der umsichtigsten Untersuchung unterzogen, hat diese tektonische Besonderheit auch sonst vielen Gelehrten zu denken gegeben, und K. Haushofer [224] hat die Methoden, durch welche man die ganz ungewöhnliche Lagerung den Grundsätzen der Kontraktionstheorie dienstbar zu machen bestrebt war, gemeinverständlich auseinandergesetzt. Fig. 196 zeigt, wie am Glärnisch die Schichten durcheinander gemengt sind; hält man daran fest, dass ausschliesslich Faltungen in Mitte liegen, so muss man offenbar sagen: Zwei horizontale Falten sind derart vertikal einander zugeordnet, dass ein nach der Spitze des Berges gezogener Erdhalbmesser viermal die nämliche Formation — unterste Kreide — durchschneidet.

Die durch Luftsättel (S. 690) angedeuteten Bestandteile der Doppelfalte sind durch Denudation weggeschafft. Viele Fachmänner, so z. B. Penck [225], haben Heims Auffassung zugestimmt; auch ist dies 1882 durch eine Vereinigung von Geologen geschehen [226], welche gemeinschaftlich eine Exkursion in das kritische Gelände ausführte. Grundsätzlich abweichend stellt sich Rothpletz zu dieser Darstellung, da er, ein Gegner der Heim-Suessschen Theorie, ein solches Einpressen gefalteter Schichten in andere nicht für möglich erachtet. Nach seinen Lokalstudien haben [227] die nördlichen und südlichen Teile der Glarner Alpen ein gemeinschaftliches Basalgebirge, welches sich aus nordöstlich streichenden Falten zusammensetzt. Darüber liegt ein mächtiges, fast alle Schichten vom Gneis bis zum Eozän enthaltendes Gebirge, die Glarner Schubmasse, die auf einer nicht durchweg gleich geneigten Fläche, der Glarner Schubfläche, aufruht. M. Bertrands Vermutung [228], dass diese Fläche von Hause aus eine einheitliche, keine gespaltene gewesen sei, stützt Rothpletz mit neuen Argumenten. Die Glarner Schubmasse lässt unser Gewährsmann oben durch die Schildschubfläche begrenzt sein, jenseits deren sich die Schildschubmasse erhebt. Auch eine Urner und Schwyzer Schubmasse werden für die bezüglichen Gebiete angenommen [229]. Was also der üblichen Theorie durch Faltung

Fig. 196.



aus einem normal geschichteten Gebirgsblocke herausmodelliert wurde, setzt sich bei Rothpletz aus mehreren, ursprünglich gar nicht zusammengehörigen Teilen zusammen, welche erst durch zweifachen Ueberschiebungsprozess ihre gegenwärtige Anordnung empfangen haben; Faltung, Ueberschiebung, Einbruch sind die konsekutiven Stadien der Gebirgsbildung. Auch sonst sind nach Rothpletz [230] Ueberschiebungen nicht selten an die Stelle der nach seiner Systematik nicht übermässig häufig vorkommenden — weil (S. 863) an die Festlandränder gebundenen — Faltungsprozesse zu setzen; als einen besonders interessanten Fall bezeichnet er [231] den doppelten Boden Nordwestschottlands, den Callaway [232] und Lapworth [233] zuerst im Heimschen Sinne zu konstruieren gedachten, während Rothpletz [234] diese „schuppenförmig übereinander liegenden Ueberschiebungen" als solche und nicht als horizontal gestreckte Falten anspricht. — Rückhaltlos stellt sich v. Branco [235] auf die Seite des modernsten geodynamischen Standpunktes; Andere werden sich, so wie die hier gegebene Schilderung der Fragepunkte, zunächst mit neutralem Abwarten begnügen, weil für den, dem nicht die weitgehende Autopsie der beiden Führer der kämpfenden Parteien zur Seite steht, jede der beiden Doktrinen einen grossen Vorzug zu bieten scheint: die Heimsche, weil sie die komplizierteste Lagerung doch als natürliche Konsequenz einer einheitlichen Theorie zu erklären weiss, und die Rothpletzsche, insofern sie mit einfacheren, an und für sich leichter zu übersehenden Bewegungen operiert.

f) Alpine Korallenbauten. Es wurde oben (S. 645) erwähnt, dass v. Richthofen [236], v. Mojsisovics [237] und Neumayr [238] der Annahme zugethan waren, es seien die gewaltigen Kalk- und Dolomitberge Südtirols grossenteils ein Produkt der architektonischen Thätigkeit triassischer Korallen. Hier ist der Platz, diese wichtige Frage alpinen Gebirgsbaus etwas minder kursorisch zu erörtern, wozu Langenbecks Darstellung [239] die Hilfsmittel liefert. Derselbe würdigt die positiven Gründe, welche die genannten Gelehrten für ihre Ansicht beigebracht haben, und unter denen Struktur- und Lagerungsverhältnisse obenan stehen; der relativ grosse Versteinerungsmangel kann kaum auffallen, „wenn man die starke Zertrümmerung bedenkt, welche das Material der Riffe schon während der Bildung derselben erleidet“. Immerhin weisen die gefundenen Fossilien auf eine echte Tierwelt der Riffe hin. Nachdem aber schon v. Gümbel [240] seine Zweifel an der korallinen Entstehung solcher Gebirgsbauten von unerhörter Mächtigkeit ausgesprochen hatte, erhob Frln. Ogilvie [241] noch entschiedeneren Widerspruch, indem sie die in Betracht kommenden Triaslagen (Wengener und St. Cassianer Schichten) als normale Sedimente eines tiefen, von seichten Partien jedoch unterbrochenen Meeres (s. S. 683) auffasst und nur das Vorhandensein wenig kompakter Barrièreriffe (S. 647) zugestehen will. „Eines der rätselhaftesten Gebilde Südtirols ist der 100 bis 1000 m mächtige Schlerndolomit,“ sagt Rothpletz [242] am Beginne der umfassenden Diskussion, welche er den vermuteten Riffbildungen der Alpentrias widmet. Dass dieses Gestein nur durch seine Facies (S. 647) von den vorgenannten Wengener und St. Cassianer Schichten abweiche, dünkt ihm sehr wahrscheinlich; das Vorkommen stockförmiger Korallen, welches nach v. Mojsisovics [243] einen positiven Grund von entscheidendem Gewichte abgeben sollte, wird bestritten [244] und mit Langenbeck [245] wird das allerdings plausible Bedenken geltend gemacht, dass es gewagt sei, Korallengebäude zu stipulieren, wenn sich der koralline Ursprung nicht mehr durch irgend welche einwurfsfreie Kennzeichen verrate. Auch dass der Schlerndolomit da, wo er die Grenze seines Vorkommens erreicht, eine sogenannte Uebergussschichtung annehme, kann Rothpletz [246] nicht zugeben. Allerdings hat man es auch ihm zufolge mit einer organogenen Bildung zu thun, aber nicht durch lebende Tiere sind diese gigantischen Massen aufgerichtet worden, sondern der Schlerndolomit hat sich, ebenso wie der in der bayerischen Alpenkette stark vertretene Wettersteinkalk, aus den Resten abgestorbener Tiere und Pflanzen (S. 688) gebildet [247]. An dieser Stelle breitete sich also ursprünglich eine Flachsee aus, vergleichbar den Bänken an der Küste von Florida. Langenbeck, der Benecke [248] darin beipflichtet, dass aus der Lagerung der Kalke keinesfalls ein sicherer Beweis gegen die Rifftheorie zu entnehmen sei, entscheidet sich dahin [249], dass er auf Grund des von Rothpletz beigebrachten Materiales für einzelne Fälle die Korallenhypothese fallen lasse, aber doch nach wie vor den meisten Dolomitgebirgen Südtirols den Riffcharakter zugestehen müsse. So urteilt auch Frech, der in der fortschreitenden Erfüllung der Hohlräume des Korallengerüstes durch kleine Dolomitspatkrystalle den Prozess der Metamorphose aufdecken zu können glaubt [250], im übrigen aber auch nicht zu vergessen rät, dass vielfach die triassischen Berge, vornämlich in den Karnischen Alpen, durch und durch aus Kalkalgen bestehen [251], also gleichfalls organogen sind.

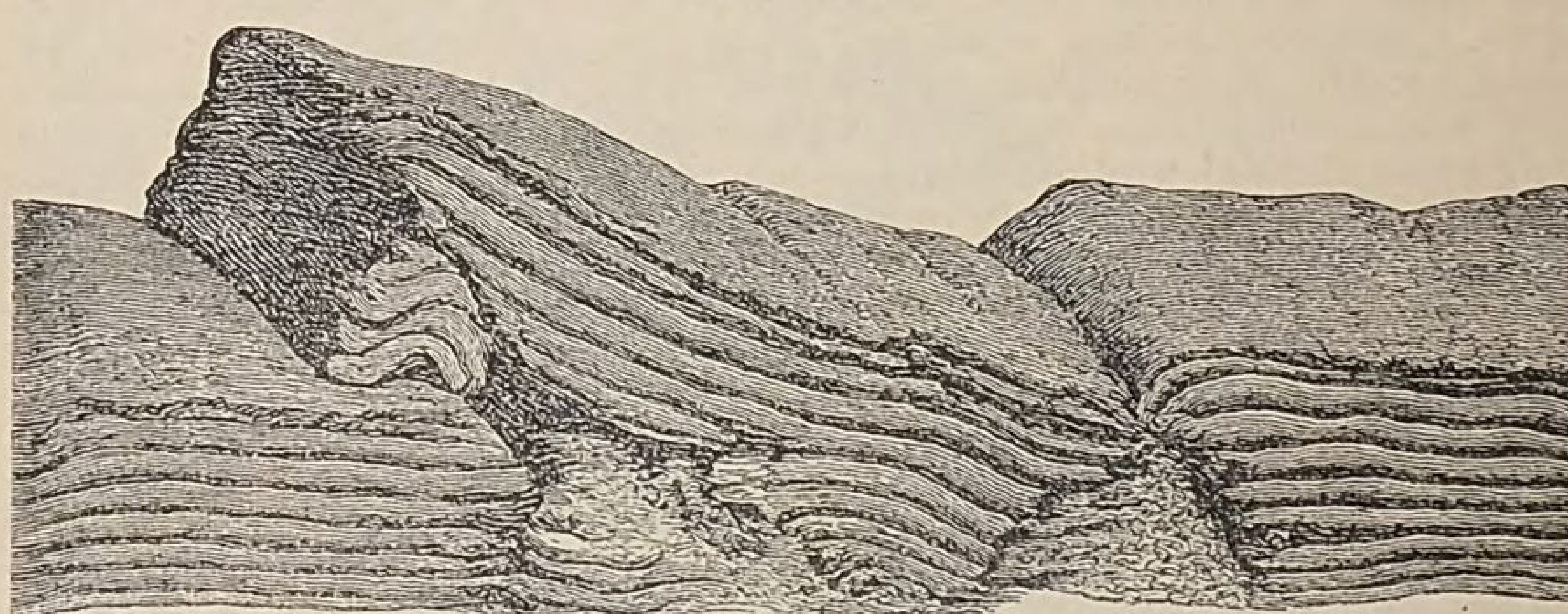
Unsere gedrängte Uebersicht sollte lediglich von der ungeheuren Fülle schwieriger Probleme, vor welche die moderne Gebirgsforschung den Geologen und Geographen stellt, ein Bild verschaffen. Vollständige Belehrung liegt selbstverständlich ganz ausserhalb der Grenzen dieses Werkes. Für tieferes Eindringen sei insonderheit auf Dieners Behandlung [252] der westlichen Alpen, auf die Arbeiten von Schrader und De Margerie über die Pyrenäen [253] und vor allem auf die der Himálaya-Geologen hingewiesen, unter denen wiederum diejenigen über das Indien westlich begrenzende Gebirge von Griesbach [254] besonders in die Augen fallen.

§. 7. Das geologische Experiment. Die Geologie ist in erster Reihe Beobachtungswissenschaft, aber doch hat sie mehr und

mehr auch das Bedürfnis empfunden, die von ihr als abgeschlossen studierten Naturvorgänge im kleinen nachzubilden. So ist denn allmählich eine experimentelle Geologie entstanden, die trotz kurzer Lebensdauer die Wissenschaft schon mannigfach zu fördern in der Lage war. Hier genügt eine gedrängte Hervorhebung des Wissenswürdigsten, gearbeitet nach einer älteren Abhandlung [255] über den gleichen Gegenstand, welche aus den umfassenden Werken von Daubrée [256] und Reyer [257] die wichtigeren Punkte herauszuheben gesucht hatte. Natürlich kommen zur Besprechung wesentlich nur jene Versuche, welche auf Gebirgsbildung und Tektonik unmittelbar Bezug nehmen.

Sieht man von Silberschlags [258] etwas chimärischem Vorschlage ab, die Sintflut im Modelle nachzubilden, so gebührt das Verdienst, zuerst im Laboratorium Geologie getrieben zu haben, unzweifelhaft dem Schotten J. Hall [259], der durch seine Studien über Schichtenbildung und Schichtenumformung die Erdbildungstheorie seines Landsmannes J. Hutton (S. 665) anschaulich machen wollte.

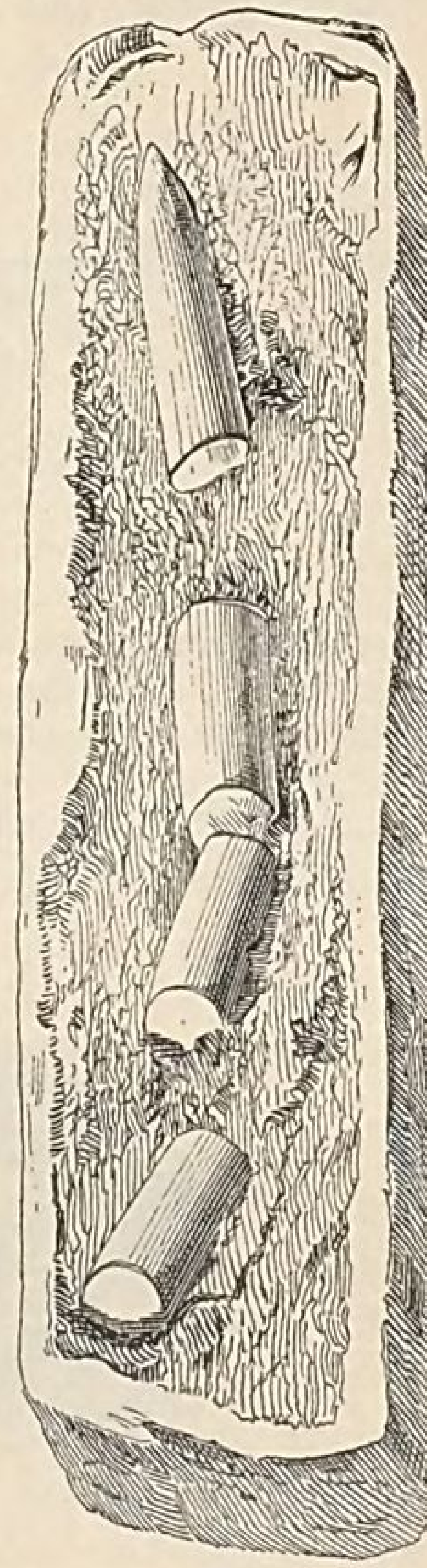
Fig. 197.



Es reihen sich an (I, S. 334) G. Bischofs [260] ausgedehnte Versuche über die Abkühlung einer glühenden Steinkugel. Unabhängig von Daubrée variierte F. Pfaff in dem „Geologische Versuche“ überschriebenen Anhange zu seinem grossen Lehrbuche [261] die experimentellen Bedingungen, welche vornämlich die Abhängigkeit der Gesteinsbeschaffenheit vom Drucke regeln; auch den Sedimentationsakt verfolgte er genau in seinen verschiedenen Stadien, und die extrem neptunistische Meinung, dass der Kapillarattraktion bei der Entstehung der Gebirge eine gewisse Rolle zuzuschreiben sei, wurde von ihm widerlegt. Leider gestatteten ihm die äusseren Umstände wesentlich nur die Anstellung von Miniaturversuchen, deren Beweiskraft keine durchschlagende sein konnte. — Von Daubrée und Sauvageot rührt eine trefflich ausgedachte Imitation des Runzelungsprozesses her. Schon durch A. Favre [262] war nämlich gezeigt worden, dass man ein ganz hübsches Bild eines stark von Dislokationen heimgesuchten Längsgebirges erhalten könne, wenn man ein rechteckiges Stück Gummi bis zur Elastizitätsgrenze ausdehne, es in diesem Zustande mit einer homogenen, feuchten Thonschicht belege und, nachdem diese getrocknet, den Gummistreifen, seiner Belastung entledigt, sich zusammenziehen lasse; wie Fig. 197 zeigt, hat eben jetzt der Thonbelag auf der kleiner gewordenen Basisfläche keinen Platz mehr, und so müssen Falten, Risse, Ueberschiebungen aller Art entstehen. Da man aber dieser Versuchsanordnung entgegenhalten könnte, sie berücksichtige bloss eine linear wirkende Kraft, während doch die Kugelfläche ein zweidimensionales Gebilde sei, so modifizierte Daubrée (s. o.), nachdem Chancourtois auf dieses Auskunftsmittel aufmerksam gemacht hatte [263], den Grundversuch folgendermassen [264]: Eine durch Aufkleben von Kautschukplättchen ellipsoidisch deformierte Hohlkugel aus Gummi wurde mit Wasser angefüllt und nunmehr in schmelzendes Paraffin getaucht, um sich längs ihrer ganzen Oberfläche mit gleich-

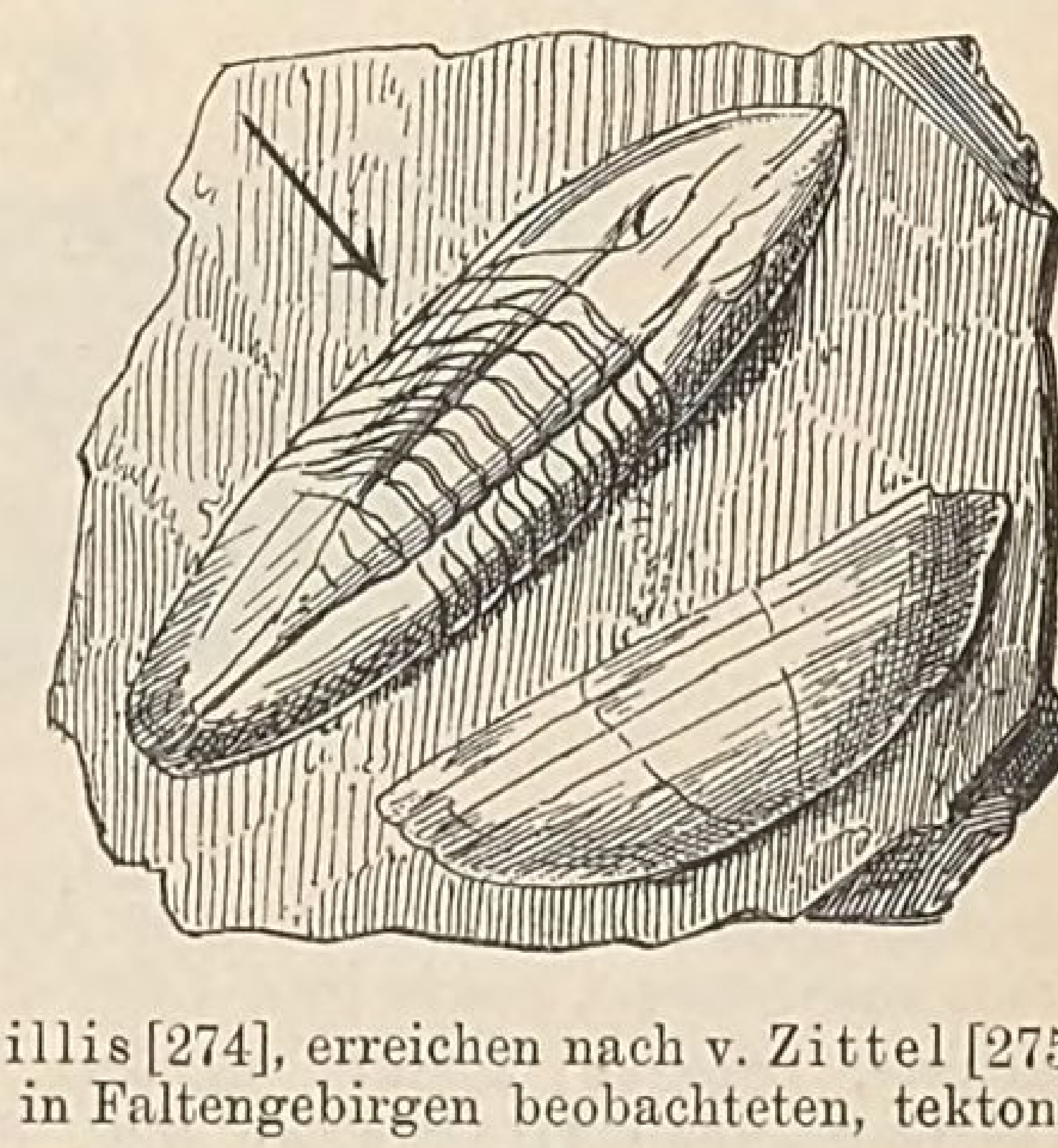
mässig dicker, wachsähnlicher Masse zu bekleiden; hierauf wurde ein kleines Loch in die Gummihaut gemacht, und indem nunmehr die Flüssigkeit tropfenweise ausfloss, legte sich die Paraffindecke, da ihr Untergrund stetig kleiner wurde, in Falten, welche auffällig an die grossen Kettengebirge der Erde erinnerten. Wie sich bei dieser Kontraktion die Gesteine verhalten, vermochten Daubrée und Reusch an Versteinerungen nachzuweisen [265], die in der groteskesten Art — am besten eigneten sich Belemniten und Trilobiten (S. 681) — gestreckt, gebogen, gelegentlich auch, nach Massgabe von Fig. 198 a u. b, zertrümmert wurden. Die Lehre von der Faltung wurde in anderer Richtung mit neuen Perspektiven bereichert durch Spring [266]. Derselbe schweisste eine Quantität pulverisierten Wismuts durch den ungeheuren Druck der hydraulischen Presse zu einem soliden Metallblocke mit festem Gefüge und glatten Bruchflächen zusammen, dadurch erweisend, dass auch ohne Annahme bruchloser Faltung (S. 859) doch recht wohl die Möglichkeit ausgiebiger Faltungsbewegung innerhalb der Erdkruste eingeräumt werden könne. Auch in neueren Explosionsversuchen von Daubrée [267] erblickt Stapff [268] einen klaren Beleg dafür, dass das durch Faltung zerquetschte Gesteinsmaterial hinterher durch den Druck seine natürlichn Konsistenz und vorgängige petrographische Beschaffenheit zurückgewinnt.

Fig. 198 a.



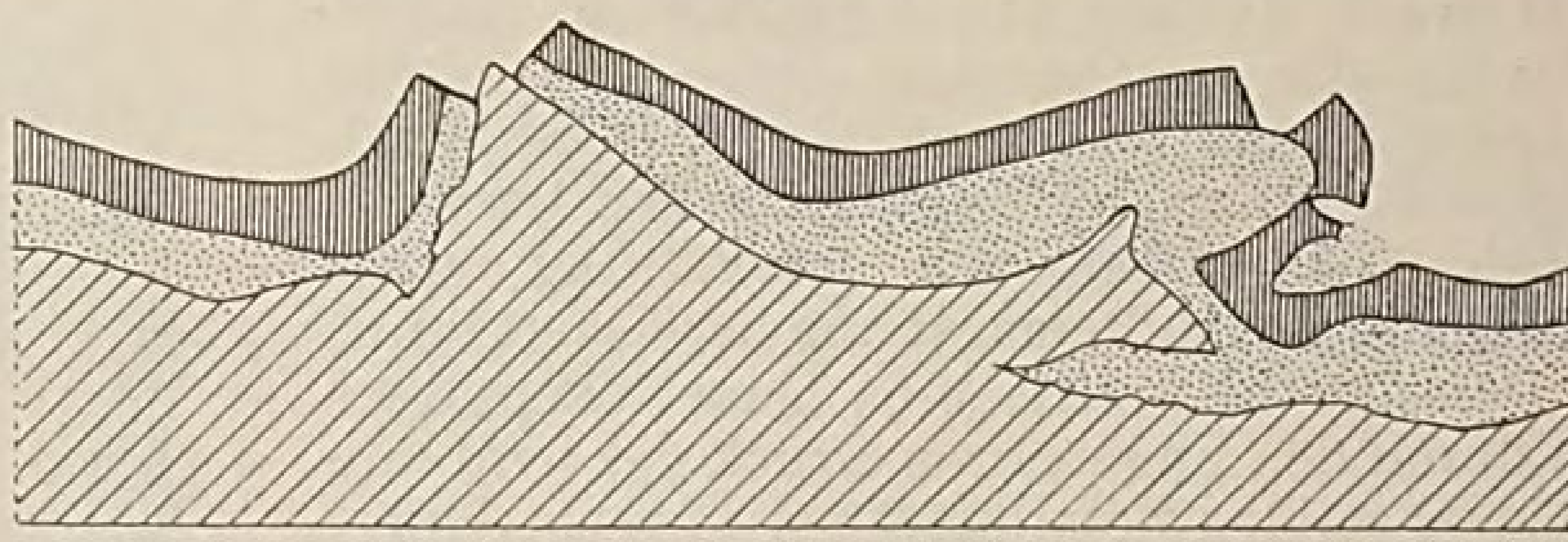
Auch Reyer hat, obwohl die vielleicht wichtigsten seiner zahlreichen Experimente der Erläuterung der Lehre vom Vulkanismus dienen, und obwohl seine theoretische Ueberzeugung (S. 862) nicht zu Gunsten der Schrumpfungstheorie ausschlägt, eine Methode zur Kontrolle fortschreitender Deformationen angegeben [269], welche nicht lediglich einer bestimmten Auffassung zu gute kommt, sondern ganz allgemein die Nachbildung geotektonischer Vorkommnisse ermöglicht. Lehm- und Sandschichten von ursprünglich parallelepipedischer Gestalt werden dadurch, dass die Oberflächen in numerierte Quadrate eingeteilt werden, gewissermassen durchsichtig gemacht; man kann, wenn der Körper durch Druck und Gleitung eine beliebige andere Form angenommen hat, doch immer noch erkennen, was aus jedem Einzelkörper infolge der Verschiebung geworden ist. Indem Reyer starken Schub auf Massen plastischen oder abwechselnd plastischen und breiigen Charakters wirken liess, stellte er Analoga zu einer ganzen Reihe von stratigraphischen Varietäten her, mit denen uns §. 2 vertraut gemacht hat; Fig. 199 lässt uns Ueberschiebungen, Aufquetschungen, antiklinale Aufbrüche nebst Abtrennung von Gesteinsnestern in fremder Umgebung (S. 850) erkennen, und sogar ein Bild der Glarner Doppelfalte (S. 868) kam zum Vorschein [270]. — Wieder ein anderes Verfahren hat R. Schäfer bei seinen für die Münchener geologische Staatssammlung angefertigten, im Drucke aber erst einmal [271] beschriebenen Modellen zur Anwendung gebracht, welche die bloss tektonisch affizierte und weiterhin auch die erosiv angegriffene Karwendelkette (Fig. 199 a u. b) ganz ausgezeichnet zu veranschaulichen geeignet erscheinen. — Auch die an Favres Vorbild (S. 870) sich anlehnenden Versuche von Schardt [272], wie nicht minder diejenigen von Cadell [273] und Willis [274], erreichen nach v. Zittel [275] den angestrebten Zweck, „alle wichtigeren in Faltengebirgen beobachteten, tektonischen Störungen nachzuahmen“.

Fig. 198 b.



Mit der transversalen Schieferung, welche normale Schichtung und Schieferung — nach v. Richthofen [276] besonders bei Thonschiefern und Schieferthonen — oft ganz unkenntlich macht, hatten wir uns bereits (S. 671) zu beschäftigen. Sie ist, wie Kayser [277] betont, etwas von Hause aus dem Gesteine Fremdes und findet sich nur bei stark gefalteten und gepressten Felsen

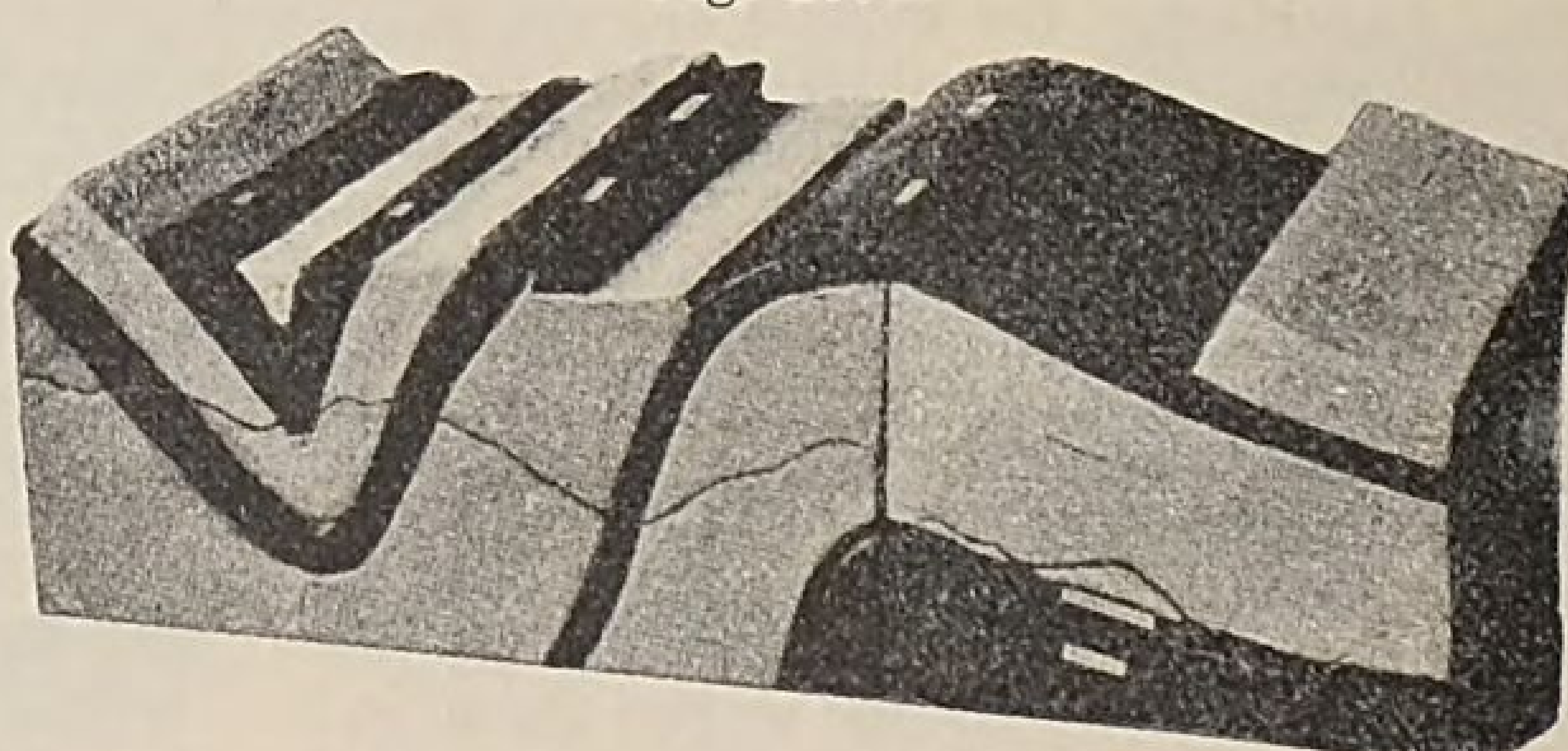
Fig. 199.



vor, so dass nur einseitiger Druck diese Metamorphosierung zuwege gebracht haben kann. Dass es sich aber in Wahrheit so verhalte, ist durch Daubrées Druckversuche [278] ganz ausser Zweifel gesetzt worden.

Entschieden die bedeutsamste unter den mannigfaltigen Experimentaluntersuchungen Daubrées ist jedoch diejenige über die Litho-

Fig. 200a.



klasen [279] (λίθος, Stein; κλάσις, Bruch); eine Bearbeitung seiner Resultate gab uns v. Lasaulx [280]. Die Leptoklasen (λεπτός, schmächtig, unbedeutend), die sich nur wenig bemerklich machen und

Fig. 200b.



in die durch Kontraktion oder Austrocknen entstandenen Synklasen (σύν, zusammen), sowie in die durch Quetschung gebildeten Piezoklasen (πιέζειν, drücken) zerfällt werden, stehen den eine ganze Gebirgsmasse durchsetzenden Diaklasen (διά, durch) und Paraklasen (παρά, bei)

gegenüber. Letztere decken sich der Hauptsache nach mit den uns bekannten Verwerfungsspalten; erstere haben zur Folge, dass sich die Felsen nach drei aufeinander senkrechten Richtungen in Platten, Tafeln, würfelförmige Blöcke sondern, wie dies eine am Granit sehr häufig wahrgenommene Erscheinung ist.

Man könnte gegen Daubrées Systematik und Terminologie manches einwenden, da doch auch die Leptoklasen notwendig zu einer der beiden grossen Hauptgruppen gehören müssen; indessen hat man sich, nachdem seine eleganten Experimente die Bahn gebrochen haben, seinen Aufstellungen gefügt. Gerade die oben (S. 867) angeführten Bergklötze des Elbsandsteingebirges machen die Probe auf Daubrées im Experimentiersaale erzieltes Exempel; man kann an ihnen ähnliche Sprungsysteme konstatieren, wie sie der französische Forscher erhielt, als er starre Tafeln von Metall und Glas, ebenso wie Blöcke aus plastischem Stoffe gleichzeitiger Inanspruchnahme durch Druck und Torsion aussetzte. Immerhin konnte Stapff mutmasslich mit Grund erinnern [281], dass man durch einfachen geradlinigen Druck oder Schub die meisten der von Daubrée durch Drehung erhaltenen Effekte erreichen könne, so dass, was mit unseren aus dem geologischen Befunde hergeleiteten Schlüssen (S. 847) ganz und gar übereinstimmt, die Natur von der Tordierung der Schichten keinen so ausgiebigen Gebrauch gemacht haben dürfte, wie der Experimentator. Indem v. Lasaulx [282] die stringenteren Begriffe ento- und exokinetisch (durch interne oder durch von aussen kommende Bewegung entstanden) benützt, kommt er zu einer abweichenden Klassifikation der Spalten: Die entokinetischen sind durch Dilatation oder ungleichmässige Zusammenziehung entstanden, während die auf Bruch oder Zusammenschub zurückzuführenden exokinetischen Gesteinssprünge genetisch als Einsturz-, Aufbruchs-, Faltungs-, Pressions- und, verhältnismässig selten, Torsionsspalten gedeutet werden können.

§. 8. **Die zerstörenden Naturkräfte.** Hiemit schliesst die Erörterung der aufbauenden und umbildenden Agentien, und unter diesen letzteren kam den tektonischen Faktoren der bei weitem grösste Spielraum zu. Dieselben bestimmen den Gebirgsbau in den grossen Zügen. Allein dass heute die Oberfläche der Erde so aussieht, wie sie sich thatsächlich unseren Blicken darstellt, das haben hauptsächlich jene still und geräuschlos wirkenden Kräfte bewirkt, deren Thätigkeit der römische Dichter [283] — wir haben es mit einer spätlateinischen Umformung einer Stelle des Ovid zu thun — durch den treffenden Spruch kennzeichnete: „Gutta cavat lapidem, non vi, sed saepe cadendo.“ Und diese Kräfte sind es, deren Betrachtung die zweite Hauptabteilung dieses Kapitels gewidmet sein muss.

Zusammenfassende Darstellungen der hier in Frage kommenden, teils bei der Physik, teils bei der Chemie hospitierenden Lehren hat man natürlich wieder zunächst in den grossen Werken v. Richthofens [284] und Pencks [285] zu suchen. Aber selbstredend geht auch keine Schrift, die sich irgendwie mit allgemeiner Geologie oder Geographie beschäftigt, achtlos an dieser hochwichtigen Seite der Oberflächenkunde vorüber.

An die Spitze stellen wir die unter dem Namen Verwitterung — ein Wort, welches die fremden Sprachen nicht gleich sinngetreu wiederzugeben ververmögen — bekannte Umbildung der oberen Gesteinsschichten. Die Modalitäten des wesentlich chemischen, durch andere Faktoren jedoch nicht unerheblich unterstützten Vorganges hat Heim [286] sehr übersichtlich erläutert. Insofern die Bodenkunde den Zustand verwitterter und infolge dessen in Grus oder gar schon in Ackerkrume verwandelter Gesteinsmassen untersucht, kann dieselbe als ein Anhangskapitel der physischen Erdkunde angesprochen werden. Um verwittertes Gestein fortzuschaffen, ist die Denudation unaufhörlich wirksam, und stets kombiniert sie sich mit dem die wechselndsten Erscheinungsbilder darbietenden Faktor der Erosion (vgl. S. 602), der uns Gelegenheit zu eingehendem Studium geben wird. Dann sind wir auch in den Stand gesetzt, die ver-

schiedenen Formen des Massentransportes, die Probleme der Thalbildung, die Morphologie der Wasserscheiden, die Entstehung der Flussläufe und Seen und die Notwendigkeit der Aushöhlung unterirdischer Kavernen (cavus, hohl) verstehen zu können. Unter der Gesamteinwirkung aller dieser Ursachen, welche den momentanen Zustand der Erdkonfiguration bestimmend beeinflussen, bilden sich charakteristische geophysikalische Landschaftsbilder heraus, bei deren Zustandekommen auch die Arbeit der Organismen keine ganz gleichgültige Sache ist; zum Schlusse ist zu zeigen, wie mit dem Eingreifen des Menschen die ganze Natur eine andere wird, weil derselbe dem freien Spiele der Naturgewalten mit den Machtmitteln seiner Intelligenz entgegenzutreten gewillt und befähigt ist.

§. 9. **Verwitterung und Verwitterungsprodukte.** Ununterbrochen wirkt die atmosphärische Luft auf die Aussenfläche einer jeden Felsmasse ein, und ein gleiches thut das von oben kommende, nur in ganz trockenen Erdstrichen fehlende Wasser. Die Art der Aktion kann hier nur kurz beschrieben werden; sehr ausführlich werden die Einzelvorgänge in einem Werkchen von Senft [287] analysiert, wozu für den Weiterstrebenden noch eine ausführlichere Darstellung desselben Verfassers [288] kommt.

Die oberflächlich verwitterte Schicht hebt sich schon durch ihr Aussehen, durch Farbe und Gefüge, von den intakt gebliebenen inneren Partien ab. Diese Umformung ist in erster Reihe auf Rechnung der chemischen Verwitterung zu setzen, welche dem Verrosten der Metalle gleicht, indem nur für letzteres fast bloss der atmosphärische Sauerstoff bestimmend wirkt, wogegen hier Kohlensäure, Ammoniak, salpetersaure Salze und derartige Stoffe, die aber alle (Abt. V, Kap. I, §. 8 und 9) der Atmosphäre entstammen, ihre auflösende Wirkung thun; dazu treten noch Humussäuren (S. 837), welche der Vegetation entzogen wurden. Die in die erstere Kategorie gehörigen Materien wirken auch dann schon, wenn sie sich noch in der Luft befinden. Das „Luftwesen umschleicht und erobert schliesslich die Steinfestung“, so drückt sich ein älterer Chemiker aus [289]. Kräftiger allerdings können die zersetzenden Säuren wirken, wenn sie dem Regenwasser einverleibt sind und in stets erneute Berührung mit dem an Widerstandsfähigkeit stetig einbüssenden Gesteine treten. Kleine Pflanzensporen überdecken, vom Winde herbeigeführt, die Oberfläche der Felsen, scheiden Kohlensäure aus und bewirken, dass erstere rauh wird, Risse und damit eine erhöhte Fähigkeit bekommt, Gase zu absorbieren, meteorisches Wasser länger zurückzuhalten. Auch die den Pflanzen folgende niedere Tierwelt trägt, indem sie Anlass zu unzähligen Verfaulungs- und Verwesungsprozessen gibt, das Ihrige zur chemischen Gesteinsmetamorphose bei, deren Wesen also darin besteht, dass die dem Steine angehörigen Grundstoffe neue Verbindungen eingehen, durch welche die Festigkeit der Textur vermindert, der Zusammenhang schliesslich ganz aufgehoben wird. Eine detaillierte Schilderung des Auflösungsprozesses kann nur von einem gewiegten Agrikulturchemiker erwartet werden und nicht Sache des Geographen sein. Selbst v. Richthofen begnügt sich [290] mit dem folgenden, die Kompliziertheit der Vorgänge deutlich kennzeichnenden Satze: „In ihrer Gesamtheit bilden dieselben eine lange, ausserordentlich verwickelte Reihe von Erscheinungen, indem die zuerst entstandenen Salze ihre Bestandteile mit den chemischen Verbindungen verschiedener Mineralien austauschen und dadurch selbst wieder zersetzend wirken; ähnlich kann die Rolle der auf zweiter Stufe entstandenen Salze sein, und so kann eine Kette verschiedener Assoziationen und Dissoziationen den Endzustand herbeiführen, dass nämlich die im Wasser löslichen Salze ausgelaugt werden, während diejenigen Substanzen zurückbleiben, welche die doppelte Eigenschaft haben, am schwersten löslich zu sein und zugleich der Ueberführung in neue Verbindungen mit den sich ihnen darbietenden Säuren und Basen den grössten Widerstand zu leisten.“ Letztes Residuum der chemischen Verwitterung, der zwar die mechanische sehr zu Hilfe kommt, die aber auch für sich allein zum Endzustande, nur in viel längerer Frist, führen würde, ist erwähntermassen einerseits der Acker- und Gartenboden, andererseits der Kot unserer Landstrassen. Die Ackererde ist ausgezeichnet durch einen mehr oder minder grossen Gehalt von Humus

(latein. = Erde), dessen Entstehung Wollny [291] sehr umfassend in ihren einzelnen Phasen untersucht; Philippson hat [292] den für weitere Kreise besonders wichtigen Teilen des Werkes einige geographisch bedeutungsvolle Daten entnommen. Die Verwesung, ein Oxydationsprozess, der durch Luftzutritt bedingt ist, und die Fäulnis, ein blosser Reduktionsprozess, diese beiden Faktoren, deren zweiten wir schon anlässlich der Torfmoorbildung (S. 786) ins Auge zu fassen hatten, bewirken die unter der Einwirkung zahlloser Mikroben (S. 365) sich abspielende Auflösung organischer Körper, welche endlich zur Humusbildung und zur Entstehung der Humussäuren (S. 817) führt. Am schwächsten entfaltet sich dieselbe in den feuchtwarmen Tropenländern; hohe Breite und namhafte Seehöhe erweisen sich dagegen als begünstigende Momente. Man darf aus dem relativen Mangel von Humus in der heissen Zone nicht etwa auf prädestinierte Unfruchtbarkeit derselben schliessen, denn Wohltmann betont [293], dass dafür wieder andere, begünstigende Momente in die Wagschale fallen. Der Gehalt an Kohlensäure, die ja (s. o.) bei der Gesteinsumwandlung so sehr beteiligt ist, übersteigt beträchtlich den Durchschnittswert der gemässigten Erdgürtel; salpetrige Säure und Salpetersäure finden sich reichlich in den noch dazu durch hohe Temperatur ausgezeichneten Sickerwässern; und die hier doch besonders massenhaft vorhandenen organischen Stoffe unterstützen die chemische Verwitterung ausserordentlich. Ueberall da, und es gilt das für ungeheure Räume, wo Gebilde niederer Ordnungen und Mikroorganismen sich in den Gesteinsfugen einnisten, geht der Lauf der Verwitterung weit rascher als sonst vor sich [294]. So geschieht es, dass zwischen den Wendekreisen hohe Fruchtbarkeitsgrade vom Gelände erreicht werden, freilich aber auch mit dem fatalen Zusatze, dessen oben (S. 369) gedacht werden musste.

Absolut widerstandsfähiges Gestein, dem die chemische Zersetzung gar nichts anhaben könnte, gibt es nicht. Doch ist der Unterschied der Resistenz ein ganz gewaltiger. Silikate verwittern, so schwer löslich sie auch sind, unter der steten Einwirkung kohlensäurehaltigen Wassers; aus dem Quarze wird loser Quarzsand, aus dem Feldspat Kaolin (wasserhaltiges Thonerdesilikat von der Formel $H_4Al_2Si_2O_4$, auch als Porzellanerde bekannt und zumeist durch Verwitterung von Granit oder Porphyr entstanden [295]). Quarzsandsteine mit quarzigem Bindemittel andererseits sind so zäh gefügt, dass man sie in der Praxis recht wohl — mit einem grammatisch allerdings nicht richtig gebildeten Worte — als unverwitterbar definieren darf [296]. Um so rascher wird die Verwitterung mit den Kalksteinen fertig, wodurch zu allermeist (s. u. in §. 23) die Verkarstung eines Gebirges bedingt wird.

Leichter zu übersehen sind, wie gewöhnlich, die einzelnen Erscheinungsformen der mechanischen Verwitterung, welche freilich in der Regel so enge vereinigt mit der chemischen auftritt, dass nur sehr genaue Beobachtung die beiden Aktionen auseinanderzuhalten vermag. Da haben wir, wenn wir von den minder einflussreichen zu den kräftigeren Faktoren aufsteigen, die Blitzwirkung, die Sprengkraft der Pflanzen, die Insolation nebst der ungleichen Kontraktion der Mineralien, die Ausdehnung des gefrierenden Wassers und die Rauhfrostwirkung. Jeder dieser Einflüsse erfordert seine gesonderte Untersuchung.

a) Blitzwirkung. Hierauf machte Heim [297] mit Nachdruck aufmerksam; wenn auch durch Blitzschlag metamorphosierte Gesteine nicht eben häufig sind, so kommen sie doch vor, und dann findet der Verwitterungsprozess bequeme Angriffspunkte. Einige einschlägige Mitteilungen wurden von uns (S. 152) gelegentlich des von den Fulguriten handelnden Abschnittes gemacht. Am meisten dürften Abichs Beobachtungen [298] über Fulguritandesit in den armenischen Gebirgen auf Beachtung Anspruch machen. Eine Reihe von Belegen hat ferner Kitl im 1. Jahrgang der „Mitteilungen der Sektion für Naturkunde des österreichischen Touristenklubs" (S. 38) zusammengestellt.

b) Die Wurzelkraft der Gewächse. Die Pflanzen beteiligen sich keineswegs bloss chemisch, also passiv, an der Gesteinszerstörung, sondern es ist ihnen dabei

auch eine nicht ganz unwichtige aktive Rolle zugeteilt. Ihre Wurzeln dringen in den Fels ein, dehnen sich unter der Einwirkung der aus der Saftbewegung entspringenden Triebkraft aus und wirken direkt als Sprengmittel. Bekannt ist der Steinbrech (Saxifraga), eine zur Ordnung der Saxifraginen und zur Familie der Saxifragaceen gehörige Pflanzengattung, deren Name allerdings wohl nicht von der hier berührten Eigenschaft, sondern wahrscheinlich von der ihr seitens der Parmazie beigelegten Wirkung gegen Steinleiden herrührt, die aber nach Heim (s. o.) im Hochgebirge — und in die Thäler steigt sie nur ausnahmsweise herab — keine geringe Sprengkraft auszuüben vermag. Auch Alpenrose, Zwergföhre und Silberwurz sind in dieser Beziehung zu nennen; nicht ganz selten stösst man auf Gesteinstrümmer, die noch von dem Wurzelgeflechte, das die Lostrennung bewirkte, umgeben sind. Bei früherer Veranlassung ist schon auf die analoge Aktion der Laminarien (S. 596) hingewiesen worden, zugleich jedoch auch darauf, dass die Vegetation nicht bloss als Feind, sondern unter Umständen auch als Schutzwehr der Gesteinsfestigkeit aufgefasst sein will [299]. Immerhin verdiente das Wesen der Quellung, einer durch Volumvermehrung sich bethätigenden Konsequenz der Imbibition (Durchfeuchtung), auch unter dem geomorphologischen Gesichtspunkte noch näher gewürdigt zu werden, nachdem durch Reinke, Schmulewitsch, Quincke u. a., hauptsächlich aber durch die physikalischen, bezüglich physiologischen Untersuchungen von O. Lehmann [300] und Bütschli [301], das Wesen der Quellbarkeit erschlossen worden ist. Quellbare Körper besitzen dem Heidelberger Zoologen [302] zufolge eine wabig-zellige Struktur, welche die Ausdehnung infolge von Flüssigkeitsaufnahme wohl begreiflich macht, und eben diese Ausdehnungstendenz muss den festen Körper, der solche Substanzen in sich schliesst, in seiner Kohäsion beeinträchtigen. Hier scheint der Forschung noch manches zu thun übrig zu bleiben.

c) Ungleiche Ausdehnung und Zusammenziehung der Gesteinsteile. Dass einheitlich aufgebautes, homogenes Gestein durch die wechselnde Bestrahlungsstärke nicht stark affiziert werden kann, leuchtet ein, allein für die Mehrzahl der Gesteine gilt als Norm die Zusammensetzung aus verschiedenartigen gesteinsbildenden Mineralien (S. 669). Es sei nur an Granit, Gneis, die alten Schiefer, sämtliche plutonische und vulkanische Erstarrungsprodukte erinnert. Die Erwärmungsfähigkeit irgend eines Teiles der Erdoberfläche hängt, wie v. Richthofen ausführt [303], von drei Elementen ab; es sind dies die spezifische Wärme, der Wärmeverbrauch durch die im Inneren geleistete Arbeit und die Wärmeleitung. Allein auch die Färbung ist nicht belanglos, denn dunkle Stoffe pflegen die Wärme begieriger als helle aufzunehmen wie dies durch Leslie-Rumfords Grundversuch [304] bekannt genug geworden ist, und wie dies auch die Polarreisenden (vgl. 546) aus Erfahrung wohl wissen. Die sommerliche Schneefreiheit Hocharmeniens wird den schwarzen vulkanischen Tuffmassen zugeschrieben, deren Vorhandensein wahrscheinlich generell ein Hinaufrücken der Schneelinie (S. 719) bedingt. Die spezifische Wärme des trockenen Bodens ist nur gleich $^1/_4$, ja $^1/_5$ von derjenigen des Wassers; daher muss sich Boden der ersteren Art weit rascher als feuchter durchwärmen, wobei auch die Pflanzendecke in Anschlag zu bringen ist. Becquerel fand [305], dass es unter einer Rasendecke weniger kalt ist, als, unter im übrigen gleichen Umständen, unter kahlem, die Feuchtigkeit nicht aufnehmendem Boden. Was dann das Wärmeleitungsvermögen anlangt, so ist dasselbe, wie die Experimente von Bartlett [306], Adie [307], Mellard Reade [308] und Frln. Stadler [309] ersehen lassen, ein sehr verschiedenartiges; Sandstein dehnt sich stärker als Marmor und Schiefer, und diese beiden Gesteine dehnen sich wieder stärker als Granit aus. Die Zusammenziehung erfolgt wesentlich im gleichen Tempo, wie die Ausdehnung.

Die von ihm eingehend studierte Auflösung der polychromen (mehrfarbigen) krystallinischen Gesteine vollzieht sich nach J. Walther [310] besonders rasch. Jeder der verschieden gefärbten Bestandteile nimmt die ihm zugeführte Sonnenwärme mit verschiedener Empfänglichkeit auf, und so kann eine vollständige Zertrümmerung der besonnten Oberflächenschicht nicht ausbleiben. Sie zerfällt in winzige Stücke, und bis hoch hinauf reicht in vielen Gebirgen des Wüstengebietes der gelbe Sand, wie Schnee den unteren Teil der Hänge bedeckend und die geologische Untersuchung nicht unwesentlich erschwerend.

Der gewöhnliche Vorgang ist jedoch die Desquamation oder Abschuppung, die im Hochgebirge, wie auch in den abflusslosen Kontinentalgebieten die

Regel bildet. Auch die Benennung der schalenförmigen Verwitterung [311] ist eine das Wesen des Ablösungsprozesses gut bezeichnende. In der Wüste ereignet es sich wohl, wie O. Fraas [312] berichtet, dass zur Nachtzeit mit lauter Detonation ein Stück Oberflächengestein abspringt und am Boden in Trümmer zerfällt; der scharfe Gegensatz zwischen täglicher Erhitzung und nächtlicher Abkühlung musste das molekulare Gefüge lösen. Doch kennt man aus Aegypten, Arizona, Mexiko auch Beispiele einer Krustenbildung, welche der Desquamation Einhalt thut; die Kruste ist selbst nichts anderes als verwittertes Gestein, fällt aber nicht ab, sondern überzieht die Felsen als schützende Decke.

d) Die Sprengwirkung des gefrierenden Wassers. Die Stärke der Kraft, welche Wasser beim Uebergange aus dem tropfbaren in den festen Aggregatzustand entwickelt, haben wir bereits früher (S. 535) zu erforschen gesucht. Wenn sich also die Hohlräume des Gesteines mit meteorischem Wasser füllen, so wird bei stärkeren Temperaturschwankungen stets eine Zersprengung der Umhüllung zu gewärtigen sein. Die Ansicht v. Richthofens [313], dass eine Decke von Schnee oder Eis die Verwitterung hintanhalte, wird nach neueren Studien, über welche der von der glazialen Erosion handelnde §. 12 zu berichten hat, zu modifizieren sein. Auf Rechnung dieses Faktors ist vielfach die wilde Zerrissenheit der Grate und Firste des Hochgebirges zu setzen, denn in niedrig temperierten Regionen wirkt die Sprengkraft des Wassers weit energischer, als es die chemische Verwitterung zu thun vermag. Natürlich werden nicht alle Materien gleich stark angegriffen; dies geht aus den experimentellen Untersuchungen von C. Lang [314] und Blümcke [315] hervor, welche im Interesse der Architektur angestellt wurden.

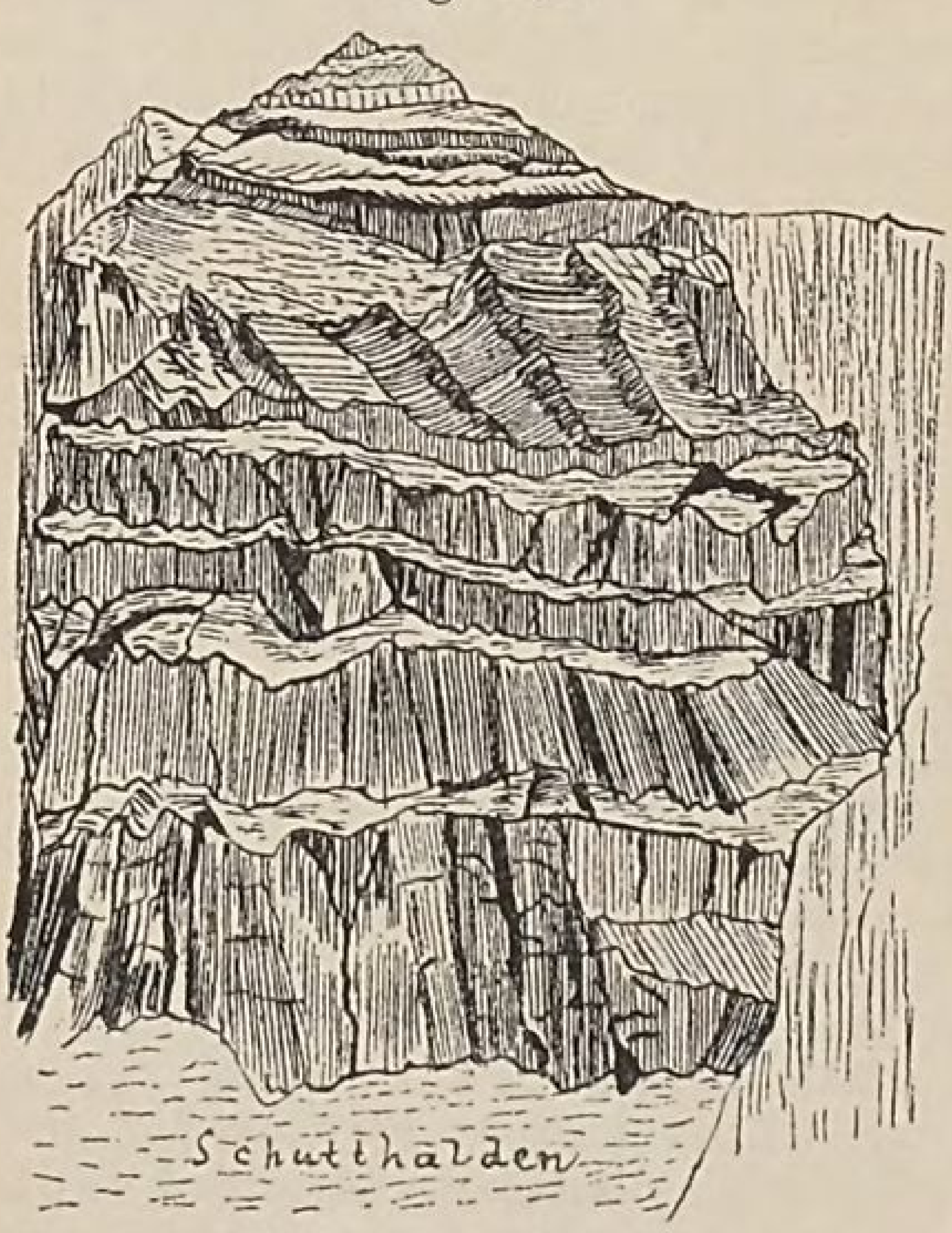
e) Der Rauhreif als morphologischer Faktor. Die Bedeutung dieser Form des gefrorenen Wassers (S. 26) ist durch Assmann [316] klargestellt worden. Allenthalben da, wo, zumal im Bereiche des Granits und Sandsteines, eigentümliche Säulen und Pfeiler aus übereinander geschichteten Platten und Blöcken die Berghöhen oder eine Thalfläche bedecken (Schnarcher und Hermannsklippen im Harz, Mittagstein und Mädelsteine im Riesengebirge, Gipfel des Dreisesselgebirges [317] im südlichen Böhmerwalde u. s. w.), soll die erwähnte Aktion in Wirksamkeit getreten sein. Insbesondere möchte Assmann auch „die der Schwerkraft scheinbar Hohn sprechenden Säulen des Adersbach-Weckelsdorfer Felsenlabyrinthes“ hierher ziehen. Diese ein ziemlich grosses Areal im nordöstlichen Böhmen (Bezirkshauptmannschaft Braunau) überdeckenden Quadersandsteinmassen (der jüngeren Kreidezeit) sind in der That so abenteuerlich zerspalten und zerrissen, dass man diese abnormen Gestalten nicht lediglich durch Erosion der Tagewasser erklären kann, sondern unwillkürlich an eine weitere Kraft appellieren muss. Die Ausdehnung des gefrierenden Wassers allein würde aber noch nicht die Abtragung, die Erniedrigung von Felsmassen begreiflich machen; wenn man aber erwägt, dass die stark überkälteten Wassertröpfchen bei plötzlicher Gleichgewichtstörung in die bekannten Rauhreiffedern übergehen, und dass das Glatteis die bereits losgetrennten Blöcke mit einer gleichmässigen Decke überzieht, so kann man zugeben, dass die Trümmerstücke auch abwärts rollen, und dass auf diesem Wege ein wirklicher Denudationsvorgang ausgelöst wird. Den merkwürdigen „Wanderstein“ am Rande der (schlesischen) Agnetendorfer Schneegrube, dessen abrupte Bewegungen der Volksmund durch jenen Namen kennzeichnen will, mag wechselnde Glatteisumhüllung zum Fortrollen veranlasst haben.

So haben wir denn erkannt, dass die Gesteinsumbildung, welche wir in ihrem Endresultate Verwitterung nennen, eine äusserst vielgestaltige, durch das Zusammengreifen einer Vielzahl an und für sich schwacher Einzelkräfte bedingte Erscheinung ist. Wenn schon die einfache Verwitterung, um J. Roths Terminologie [318] zu gebrauchen, in Wahrheit ziemlich kräftige Wirkungen ausübt, aber doch wesentlich nur auf Stoffe, die in der Erdrinde nicht eben ausschlaggebend vertreten sind [319], so ist die komplizierte Verwitterung, unterstützt durch die von Müntz [320] eingehend erkundete Arbeit der nitrefizierenden Pflanzensporen und nicht minder durch die der Tiere (vgl. die Angaben in §. 20) von einer so energischen Be-

thätigung, dass kein noch so fest gefügter Bau, natürlichen oder künstlichen Ursprunges, ihrer Minierwirkung auf die Dauer Widerstand zu bieten im stande ist. Hier werden kleine, dort werden grosse Hohlräume in den Fels eingetieft; dort entsteht eine kannelierte, durch die bizarrsten Wechsel von Erhöhung und Vertiefung ausgezeichnete Gesteinsfläche, das Karrenfeld; an dritter Stelle zerfällt ein Berg in Blockanhäufungen und Schutthalden; als letztes Glied der unter dem Einflusse des Verwitterungsaktes fortschreitenden Metamorphose erscheinen endlich die verschiedenen Erden und Bodenformen. Lernen wir also, nachdem der Prozess als solcher studiert ist, auch die Spuren kennen, welche er an den Gebilden der Natur zurückgelassen hat.

a) Kesselbildung. Die Verwitterung schreitet nicht in jeder Richtung gleich intensiv vor; dies beweisen Papes Arbeiten [321] über die Verwitterungsellipsoide der Krystalle. Auf der Oberfläche frei liegender Felsen bilden sich unter dem Einflusse der chemischen Wirkung von Luft und Wasser kleinere und grössere Hohlräume von zumeist ellipsoidischer Gestalt. Im böhmisch-schlesischen Grenzgebirge gelten derartige Löcher im Granit als Opferkessel und als Menschenwerk, aber aus Hüblers Monographie [322] geht hervor, dass eben die Beschränktheit auf plutonisches Gestein — im Thonschiefer fehlen solche Aushöhlungen — von vornherein die natürliche Entstehung gewährleistet. Der Granitit (I, S. 392), der zumeist ansteht, ist ein durch die Schwefelsäure und den Ammoniak des Regenwassers (S. 18) ungemein leicht zerstörbares Gestein, und da das Isergebirge besonders regenreich ist, so versteht man die Auswitterung solcher Mulden, die jedoch auch anderwärts vorkommen, ohne Schwierigkeit. — Jene Nischen, welche Penck [323] mit dem korsikanischen Regionalnamen Tafoni bezeichnet, und die nach Wadsworth [324] in Nordamerika, nach Martins [325] auch im Jura keine Seltenheit sind, die aber nicht nur vertikal, sondern unter den verschiedensten Formen in das Gestein eindringen, sind wahrscheinlich auch grossenteils auf solche Weise ausgehöhlt worden, wiewohl die Winderosion (§. 11) teilweise ihre Hilfe geliehen haben mag. Penck führt [326] eine ganze Reihe analoger Vorkommnisse aus Cornwallis [327], Colorado [328] und anderen Ländern an, deren Eigentümlichkeiten Heim [329] eben in dem hier angedeuteten Sinne behandelt hat. Wünschenswert erscheint, den zeitlichen Fortgang des Eintiefungsaktes messend verfolgen zu können, wozu Schütze [330] einen guten Grund gelegt hat.

Fig. 201.



b) Bandstruktur. Wenn die Verwitterung sich nicht auf einen kleinen Raum konzentriert, welcher ihr aus irgend welcher Ursache besonders günstige Ansatzpunkte darbietet, wenn sie vielmehr gleichmässig nach innen fortschreitet, während zugleich in dem angegriffenen Abhange Gesteinslagen von verschiedener Widerstandskraft abwechseln, so modellieren die zerstörenden Kräfte Bänder heraus [331], die man wohl auch, weil schmale horizontale Absätze die Ansiedlung von Pflanzen ermöglichen, Rasenbänder nennt. Bekannt durch die landschaftlich schöne Ausprägung seiner Bänder ist der Glärnisch (vgl. S. 868) im Kanton Glarus, die in Fig. 201 nach Baltzer [332] abzubilden versucht wurde.

c) Karbildung. Als die Potenzierung der Kesselbildung erblicken in neuester Zeit mehrere Forscher die Aushöhlung jener gewaltigen Konkavitäten des Gebirges,

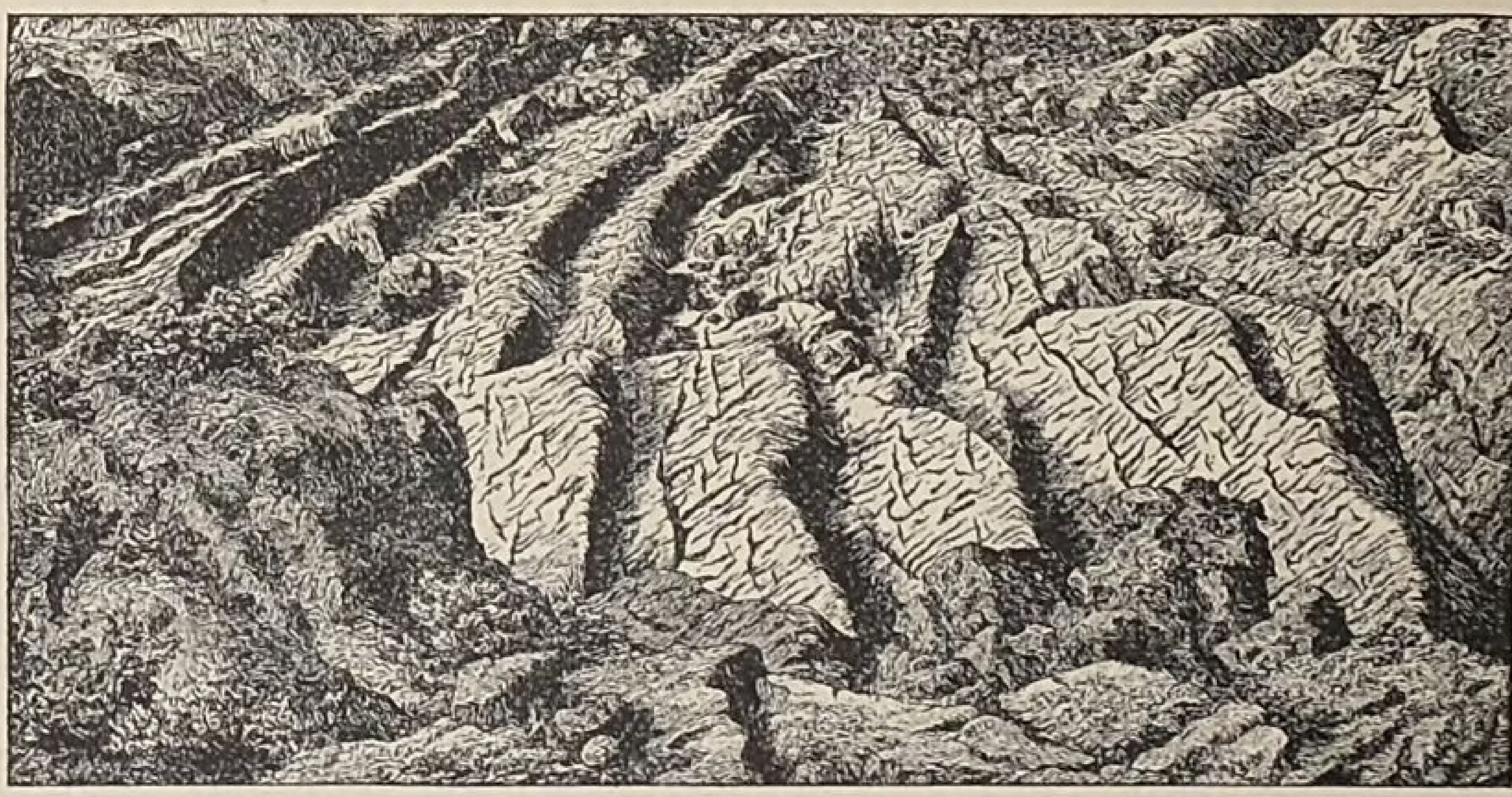
betreffs deren die Alpengeologie die Volksbezeichnung Kare adoptiert hat. Penck identifiziert [333] die Worte Kar und Zirkus; vielleicht empfiehlt es sich jedoch, die Zirken, ohne einen qualitativen Unterschied anzuerkennen, nur als die höchste Entwickelung des Karphänomenes gelten zu lassen. In den Pyrenäen ist das Kar als Oule, im keltischen Sprachgebiete als Corry, in Nordengland als Cormb bekannt, und auch die viel besprochenen Botner Norwegens sind nichts anderes. Die Oeffnung der Kare liegt durchweg hoch über der Sohle des benachbarten Thales, und manchmal liegen diese Hohlräume treppenförmig übereinander, und die Oeffnung mündet häufig in einem schroffen Absturze. Besonders schöne Exemplare, Schutt-, Fels- und Schneekare, wie auch Karseen enthält das Karwendelgebirge, und C. Gruber gibt [334] eine anschauliche Beschreibung derselben, welche auch das genetische Moment nicht vernachlässigt. Die Gletschererosion wird als bestimmendes Motiv abgelehnt, fliessendes Wasser dagegen zugelassen. Doch wird mit richtigem Blicke erfasst, dass durch Verwitterung und Wegschwemmung der losen Verwitterungsprodukte kleinere Zirken recht wohl zu einem Doppelkar zusammenwachsen können. Stets hat, wie der gleiche Autor berichtet [335], der Gebirgsbewohner einen treffenden Ausdruck für eine charakteristische Karform gefunden; er spricht von Wanne, Schneepfanne. Nudeltrog, Schlüsselkar, wie auch das skandinavische „Botn“ (s. o.) mit Felsamphitheater gleichbedeutend ist. Eine besonders gründliche Erörterung hat E. Richter [336] der Karbildung gewidmet, allerdings mit der Einschränkung auf die archaischen Zentralalpen. An Aushöhlung durch fliessendes Wasser ist ihm zufolge nicht zu denken, weil dieses doch notwendig auch den rückwärtigen Gebirgshang angegriffen haben müsste. Wohl aber muss die Wandverwitterung in der Zone zwischen Wald- und Firngrenze, innerhalb deren allen destruktiven Kräften ungehinderter Zutritt vergönnt ist, sehr kräftig arbeiten können. So sind nach Richter auch die grossen Einsenkungen auf dem Kamme des Riesengebirges, die Schneegruben, entstanden. Aus der Steilwand modelliert sich zuerst eine flache Nische heraus, die dann durch progressive Vertiefung allgemach ein Kar wird. Auch im Balkan und Despoto Dagh fand Toula [337] eine ähnliche Physiognomie des Hochgebirges ausgeprägt, demzufolge auch ein Walten analoger Ursachen. Was die Kalkgebirge betrifft, so übertragen wir auch auf dieses wesentlich Richters Erklärung, indem wir jedoch Grubers (s. o.) Annahme beipflichten, dass alle möglichen erosiven Faktoren noch neben der Verwitterung bei der Austiefung jener Becken hilfreiche Hand geboten haben.

Die Cirques der Hochpyrenäen nennt Ruith [338] eine für dieses Gebirge typische Bildung, und mit dem riesigen „Kolosseum“ von Gavarnie (S. 816) möchte er höchstens das Hochthal von Leuk (Wallis) vergleichen. In der That hatte schon Ramond [339] diesen Zirkus für einzig in seiner Art erklärt. Ami Boué führt [340] als Parallelen noch den Thalschluss der Kočna in den Karawanken und einen ebensolchen hinter dem oberösterreichischen Schneeberg auf. Auch die Zirken von Troumouse und Bielsa sind durch pittoresken Reiz ausgezeichnet. Penck gibt [341] nähere Nachrichten über die in den Karboden eingesenkten Karwannen und schreibt, hierin die Ansicht Hellands [342] teilend, den Karbecken eine glaziale Ausgestaltung zu, vorab in den Pyrenäen [343]. Wir haben so lange hiegegen nichts einzuwenden, als dieser Glazialaktion nur sekundäre Arbeit, Ausarbeitung im strengen Wortsinne, zugeschrieben wird, während wir der chemischen Verwitterung den Löwenanteil vindizieren möchten. Jedenfalls ist die alte Ansicht, dass hier Kraterbildungen oder Einsturzkessel vorlägen, längst verlassen [344]. An den Sackthälern Norwegens, die im ganzen den Botnern gleichkommen, konnte Richter seine Auffassung erproben [345], und er hat dieselbe auch bestätigt gefunden. Die Verwitterung schritt energisch rückwärts, die Flachnische zum Zirkus ausarbeitend, und zwar war anscheinend die Wirkung von fest werdendem Wasser eine besonders kräftige. Starker Regen hat in den tieferen Lagen solche Hohlräume in Trichter mit Mündungen umgewandelt, aber weiter oben ist die Zirkusform intakt verblieben.

d) Schratten und Karren. Wer heutzutage eine Darstellung der Eigenschaften dieser merkwürdigen Oberflächenform zu liefern unternimmt, wird nicht umhin können, sich an die beiden hievon handelnden Abhandlungen von Chaix [346] und Eckert [347] zu halten, vor allem an die letztere, welche die weitaus umfassendere ist. Das Wort Schratt bedeutet, wie man weiss, einen bösen Geist, und in der Schweiz soll man deshalb einer Bodenform, die aussieht, als hätten Dämonen mit ihr gespielt, den sonderbaren Namen beigelegt haben [348], während

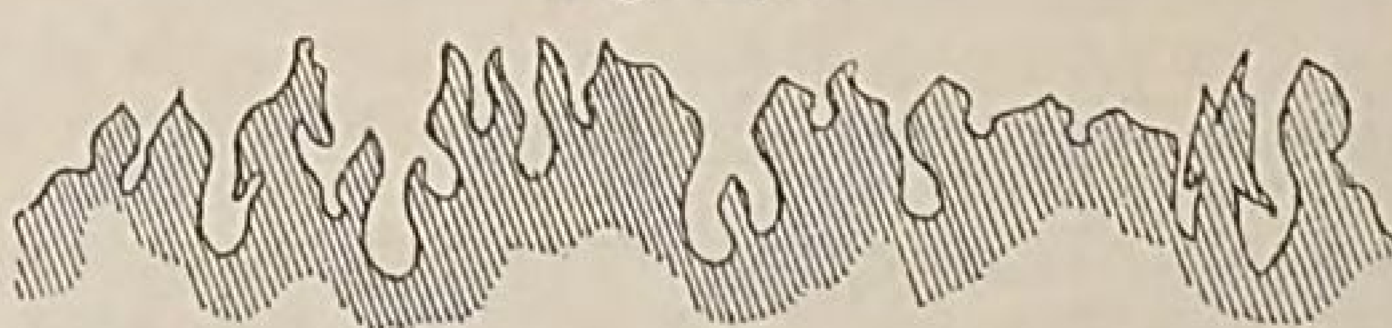
das Wort Karrenfeld, welches in den östlichen Alpen das gebräuchlichere ist, wohl mit dem obigen Kar verwandt ist. Die französisch redenden Alpenbewohner haben die Bezeichnung lapiaz. Ein Karrenfeld ist eine ursprünglich ebene oder nur sanft geneigte Fläche, die aufs wildeste zerrissen erscheint, indem oft so rasch Vertiefungen und Kämme wechseln, dass der Fuss des Wanderers keinen rechten Platz findet. Dem Eindrucke eines vom Winde gepeitschten, plötzlich aber erstarrten Meeres kann man sich kaum entziehen, und wahrlich nicht ohne Grund ist das wilde Kalkplateau, welches nördlich zum Königs-See, südlich zur Ebene des Mitterpinzgaus abstürzt, in seinem südlichen Teile als Steinernes Meer bekannt. Treffend ist v. Gümbels Schilderung [349] dieser — in ihren spärlichen Oasen gleichwohl von Schafherden belebten — Einöde. „Wir betreten durch eine

Fig. 202a.



der Scharten die Felswüste und sehen nun, soweit das Auge reicht, vor uns in endloser Wiederholung kahle, oft durch 10 m tief ausgenagte Spalten und von Meteorwasser eingeschnittene Rinnen zerteilte und schneidig ausgezackte Felsgruppen, ruinenartig zusammengestürzte Gesteinshaufen und durch Verwerfungsspalten senkrecht abgeschnittene und verschobene Kalkbänke . . .“ Auch sonst fehlt

Fig. 202b.



es den nördlichen Kalkalpen nicht an ausgezeichneten Karrenfeldern. So ist das Plateau der Gottesackerwände im Algäu wohlbekannt [350]. Die ausgedehnten Schrattenfelder des Dachstein- und Prielstockes wurden von F. Simony [351] zum Gegenstande mehrfacher Untersuchung gemacht, und sein einen wahren Schatz guter Bilder für das Studium alpiner Terrainformen enthaltendes Dachstein-Werk [352] wird von jedem zu Rate gezogen werden müssen, der sich die Morphographie dieser eigenartigen Gebilde verständlich machen will. Wer sich (Fig. 201 a) ein solches Feld betrachtet, sieht sofort ein, dass dasselbe einen Vertikaldurchschnitt liefert, wie ihn Heims Karrenprofil (Fig. 201 b) zur Anschauung bringt. Für die Dachsteinplateaux sind auch die zahlreichen tieferen Einsenkungen (Karrenbrunnen) charakteristisch. Andeutungen über Karren im Montblancgebiete machte bereits Saussure [353], und in seiner Gesamtheit verbreitete sich über das Karrenphänomen der Schweiz eine Schrift von F. Keller [354], die auch an theoretischen Ausblicken nicht arm war. Die Jura-Karren finden auch früh schon, bei Agassiz [355], Erwähnung, haben nachher aber erst wieder bei Ratzel [356] eine speziellere Würdigung erfahren. Dass in verkarsteten Ländern solch zerfressenes Gestein oft

zu finden sein wird, kann man von vornherein vermuten, und Cvijić [357] bestätigt das vollkommen. Peloponnesische Karren beschreibt Philippson [358], montenegrinische Hassert [359], und eine Skizze der am Libanon angetroffenen, in diese Kategorie gehörenden Vorkommnisse besitzt man von Diener [360], wobei jedoch nicht unbemerkt bleiben darf, dass Eckert [361] eben diese Bildungen nicht als eigentliche Karren anerkennt. Im allgemeinen sind Schrattenfelder als ein durch das Vorhandensein von Kalk bedingtes und an diese Formation gebundenes regionales Phänomen zu betrachten, dessen geographische Verbreitung im übrigen eine ziemlich allseitige ist.

Was die Erklärung angeht, so stehen sich, wenn wir die neuerdings mehr und mehr zurückgedrängte Hypothese der glazialen Ausfurchung ausschliessen, hauptsächlich zwei Auffassungen gegenüber: Die einen erblicken in den Karrenböden und Karrentrichtern nahezu exklusiv ein Ergebnis chemischer Verwitterung, und die anderen denken an eine mechanische Erosionswirkung des fliessenden Wassers als an die oberste Ursache. Schon bei Scheuchzer glaubt Eckert [362] die Andeutung dieser doppelten Möglichkeit nachweisen zu können. Sehr bestimmt tritt bei Lyell der Hinweis auf die zersetzende Wirkung des mit Säuren beladenen Regenwassers hervor; es ist bekannt, sagt der grosse Geologe [363], dass meteorisches Wasser, welches der Atmosphäre Kohlensäure entzogen hat, die Eigenschaft hat, Kalkfelsen auflösen zu können. Der damit gegebene Fingerzeig wurde nicht vergessen. Simony (s. o.) konnte sich nicht bestimmt entscheiden, ob mehr die chemische oder die mechanische Thätigkeit der glazialen Schmelzwasser, ohne welche er sich die Karren überhaupt nicht entstanden denken konnte, ausschlaggebend gewesen sei, doch liess er die letztere als die wahrscheinlich vorwaltende erscheinen [364]. Umgekehrt stellte Heim [365] mit vollem Bewusstsein die chemische Verwitterung voran, und während sonst vielfach die Ansicht vorherrscht, Karren und Gletscher stünden zu einander nicht allein in enger lokaler, sondern auch in ursächlicher Beziehung, sprach er, unter Nebeneinanderstellung der dagegen sprechenden morphographischen Thatsachen, den Satz aus [366]: „Die Karren oder Schratten sind so sehr von den Gletscherwirkungen verschieden, dass wir sie denselben nicht einmal gut gegenüberstellen können.“ Nicht anders urteilt v. Richthofen [367], der in dem Mangel an Homogeneität, der den zum Teile durch Tiere und Pflanzen erzeugten, zum Teile auch aus Detritus aufgebauten Kalkstein kennzeichne, den Grund für ungleiche Tiefenwirkung des Zersetzungsprozesses erkennt. Diese Anschauung wurde bekämpft von Rothpletz [368], der die in §. 24 zu schildernden Riesenkessel als Analoga heranzieht, und vor allem mussten sich diejenigen Forscher gegen Heim aussprechen, die dem rinnenden Wasser eine entscheidende Rolle bei der Aushöhlung der Karren beigelegt wissen wollen. Penck ist geneigt [369], die Wirkung des Regenwassers als die massgebende anzusehen; „die Bahn, die ein rinnender Tropfen benützt hat, wird dann einem zweiten vorgeschrieben, und so entstehen allmählich schmale, abwärts laufende Rillen, zwischen welchen das Gestein in scharfen Kanten aufragt“. Auch im Bette seichter Flüsse gewahre man hie und da Karrenbildungen. Mit Pencks Bevorzugung des atmosphärischen Wassers ist Ratzel (s. o.) nicht einverstanden; er geht auf Simonys Hypothese von der ausfurchenden Kraft des glazialen Abflusswassers zurück und bildet dieselbe weiter durch, und Eckert, der, ohne andere konkurrierende Faktoren gänzlich auszuschliessen, einen ähnlichen Standpunkt vertritt, konzentriert seine der mechanischen Erosion günstige Schlussansicht dahin [370]: „Darum ist das Karrenfeld eine durch einstige Firn- und Eisbedeckung gemodelte Bodenform und auf und vor dem Boden alter Gletscher- und Firnfelder zu finden.“ Dieser These braucht auch der sich nicht zu widersetzen, der mit Heim an der chemischen Erosion als Haupt- und Grundmotiv festhält; was durch die letztere geleistet werden kann, suchte eine Berechnung Fuggers [371], der zwischen „Schratten“ und „eigentlichen Karren“ unterschieden sehen möchte, klar zu machen, und wenn man auch die Zahlen im einzelnen bemängeln will [372], so scheinen sie uns doch sicher zu beweisen, dass diese an sich unbedeutende Naturkraft in ihren Kumulativwirkungen gewaltige Leistungen hervorzubringen fähig ist. Die Verwitterung unter der chemischen Einwirkung der Luft, des meteorischen und des aus Gletschern entbundenen Wassers hat unseres Dafürhaltens den Grundplan eines Karrenfeldes in die Kalkfläche eingezeichnet, und auch mechanische Stoss- und Schleifwirkung des fliessenden

Wassers hat bei der Herausarbeitung der scharfzackigen Firste und Kämme deutliche Spuren hinterlassen.

Die feinsinnige Studie Siegers [373] über glaziale Bildungen, die an Karren gemahnen (vgl. S. 733), gibt uns manchen interessanten Vergleichungspunkt an die Hand. Einsturz, Erosion, Auswirbelung des Wassers werden als Ursachen der im Gletschereise entstandenen Trichter und Schlöte, ungleiche Abschmelzung und durch Wind erzeugte Furchung werden als Ursachen der in Eis und Schnee vielfach bemerkten tiefen Rinnen namhaft gemacht [374]. Jedenfalls steht fest, dass auch im gefrorenen Wasser karrenähnliche Rippungen zu stande kommen können, hervorgebracht durch die nämlichen Agentien, die auch den festen Stein wirksam anzugreifen vermögen.

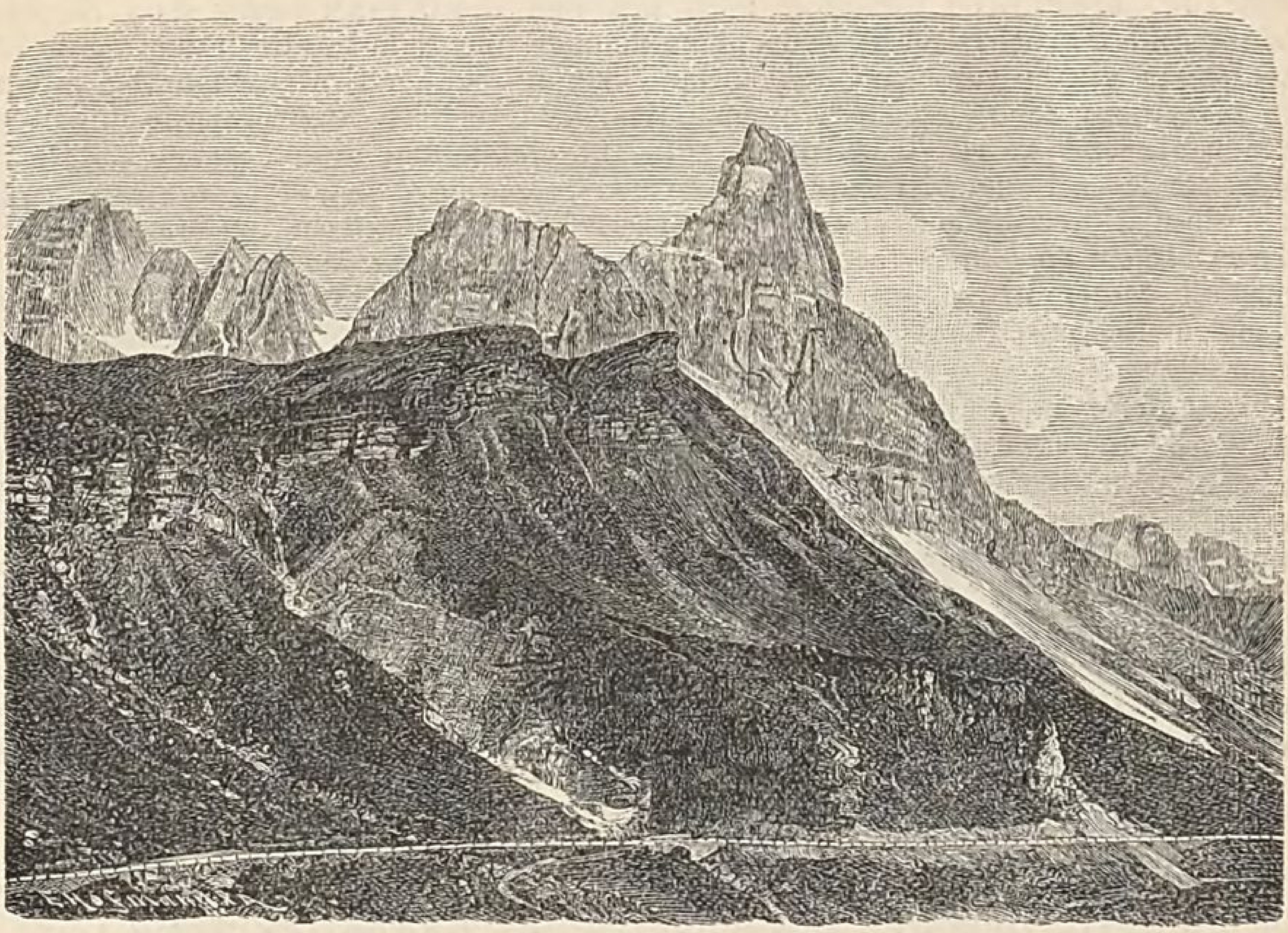
e) Blockmeere und Schutthalden. Als eine typische Verwitterungserscheinung möchten wir auch die Auflösung von Felsmassen in sogenannte Block- oder Felsenmeere gelten lassen; vorbereitend dafür wirkt allerdings die diaklastische Zerlegung im Sinne Daubrées (S. 867), und das fliessende Wasser hilft dazu, die Gesteinssprünge zu erweitern [375]. Man hat wohl solch wirres Durcheinander von Trümmern, wie es die Felsenmeere des Odenwaldes oder, besonders schön, die Luisenburg im südöstlichen Fichtelgebirge dem Auge vorführen, auf Erdbeben und anderweite Stosswirkung zurückführen wollen [376]; allein schon Goethe hatte, wie Penck (s. o) und Hederich [377] hervorheben, den still waltenden Einfluss der Verwitterung sicher herausgefühlt [378]; seine plastische Erzählung stimmt ganz zu v. Gümbels Deutung des Charakters der Luisenburg [379], „in deren erstaunlich grossartigem Felslabyrinthe wir nichts anderes erblicken können, als die Ueberreste festerer Felsenstücke eines durch Verwitterung weniger fest gebundener Zwischenmassen bewirkten Zusammensturzes früherer hoch aufragender, aus schaligen Bänken bestehender Granitkuppen.“ Blockgipfeln und Felstürmen, wie wir sie oben kennen lernten, wohnt stets eine Neigung inne, sich durch Zerfall in Blockmeere zu verwandeln. Wir erachten uns autorisiert, dieser Formation auch die von Ch. Darwin [380] erstmalig studierten und anscheinend noch keiner Erklärung teilhaftig gewordenen Steinströme der Falklands-Inseln einzuordnen. Wenn Darwin auf die fast unmöglich aussehende Lagerung einzelner Blöcke in fast labilem Gleichgewichte aufmerksam macht, so darf nicht vergessen werden, dass derartige Fälle überhaupt zum öfteren vorkommen. Eine hübsche Zeichnung [381] teilt u. a. O. Kuntze mit. Katzer beschreibt [382] die Trümmerfelder des böhmisch-sächsichen Grenzgebirges. Von den Blockmeeren zu den für Finnland typischen Gesteinsanhäufungen, den Rapaviki (I, S. 578), überzugehen, liegt nahe. Schon im XVIII. Jahrhundert beschäftigten sich mit denselben [383] Abildgard und Tilas. Ersterer meinte, solche Trümmerhaufen, wie sie um Nystad, Helsingfors und Tavastehuus strichweise auftreten, liessen sich nur auf Grund der Annahme grossartiger tellurischer Umwälzungen begreifen, aber Tilas begnügte sich mit einer viel einfacheren Erklärung durch einen ausgiebigen Verwitterungsprozess.

Wenn die Verwitterung nicht, den Bruchsystemen nachgehend, einen gewaltigen Felsklotz in seine Teile zu zerlegen im stande ist, so bescheidet sie sich damit, den ihr offenliegenden Abhang zu zerstören, kleinere Blöcke abzusplittern und die langsam vor sich gehende Bildung von Schutthalden in die Wege zu leiten, die namentlich in Kalk- und Dolomitgebirgen bis hoch hinauf den anstehenden Fels verhüllen (vgl. in Fig. 202 eine Abbildung des Cimon de la Pala in Südosttirol). Wie dies geschieht, zeigt uns die gründliche Analyse Hettners [384], eine der besten Charakteristiken der Verwitterungsvorgänge, über welche wir verfügen. Das Normalprofil eines Vertikalschnittes der — ursprünglich selbst senkrecht aufragend gedachten — Wand würde eine Treppe sein, deren mittlere Neigung gegen den Horizont $63^1/_2{}^0$ betragen müsste. Den Schutthalden im engeren Sinne, welche er Flankenhalden nennt, stellt v. Richthofen [385] die Kehlhalden gegenüber, bei deren Aufschüttung der Regen stark beteiligt war. Aeusserlich ähnlich beschaffen, aber nicht langsam aufgebaut, sondern mit einem Schlage entstanden, sind die Schwemmkegel Neumayrs [386], Erzeugnisse von Wildbächen; hieher gehört auch Desors „Delta torrentiel“ (S. 625 ff.). Genauere Mitteilungen über den Böschungswinkel loser Schutthalden macht Penck [387], indem er sich auf die Versuche von Thoulet [388] und Forchheimer [389] stützt, neben denen auch diejenigen Loewes [390] (I, S. 370) Beachtung heischen. Interne Massenumlagerungen im Schuttkegel haben nach Kerr [391] ihren Grund gewöhn-

lich im winterlichen Wechsel von Gefrier- und Tauvorgängen. Aeusserlich haben Schutthalden vieles gemeinsam mit Moränen (S. 735 ff.) und Bergsturzresiduen (§. 14), und auch wenn fortgesetzte Zersetzung die Gesteinshaufen in Sandhügel verwandelt hat, kann diese Analogie andauern. Beim Vorüberfahren vor der Insel Sokótra fallen die „weissen Sandmoränen" auf, welche dem Augenzeugen [392] gerade wie ferne Gletscher vorkommen.

f) Varietäten der Bodenbildung. Wenn die Zersetzung weit genug fortgeschritten ist, sehen wir zuletzt als Residuum lehmige und erdige Massen vor uns, die aber durchaus nicht überall den gleichen Stempel tragen, deren Herausbildung vielmehr sehr beträchtlich regionale Einflüsse zu konstatieren gestattet [393]. Der Lehm, eine zähe, mit Gesteinsbrocken durchsetzte Masse von leichter Formbarkeit (Ziegelbrennerei), erscheint in seinen Modifikationen als Gehängelehm [394] und als Auenlehm [395], und auf dem Boden der Tropfstein-

Fig. 203.



grotten bildet der bekannte Höhlenlehm den konstanten Ueberzug. Das Material des Lehms ist durch Verwitterung entstanden; bei der Bildung der Lehmlager hat fliessendes Wasser entscheidend mitgewirkt. Dem braunen Lehm der gemässigten Breiten muss der gelbrötliche Laterit (later, Ziegelstein) zur Seite gestellt werden, dessen Färbung die Tropenlandschaft, vorab in Afrika, so eigenartig macht, wie uns zahlreiche Bilder zeigen. Eine monographische Schilderung des Laterits erhielten wir von Pechuel-Lösche [396]. Eisenoxyd und Eisenoxydhydrat sind in der bröcklig-schwammigen Masse allenthalben vorhanden und bewirken die charakteristische Färbung. Nur gelegentlich begegnet man Laterit in sekundärer Lagerung (S. 686); denn der Regel nach ist er das Resultat des bis in ansehnliche Tiefen eingedrungenen Verwitterungsprozesses der natürlichen Bodendecke. In diesem normalen Falle eignet ihm zellige, dem weggeschwemmten Tropenlehm hingegen eignet dichte Struktur. Da, wo Bergwerke ins Gebirge getrieben wurden, kann man den allmählich sich vollziehenden Uebergang aus Laterit in noch intakten Fels deutlich wahrnehmen. Der Laterit kann Wasser nicht behalten und ist deshalb der natürliche Feind des auf Befeuchtung von unten angewiesenen Waldes; dies ist einer der Hauptgründe dafür, dass nur in wenigen afrikanischen Gegenden Baumbestände anders als in der berüchtigten

Form des dünnen, längs der Flussufer sich hinziehenden Galeriewaldes gedeihen. Aus vulkanischem Trappgestein (I, S. 392) gebildet, gewinnt Indiens Hochflächenlaterit [397] eine Mächtigkeit bis zu 140 m.

Auf die gemässigten Zonen ist der Löss wesentlich beschränkt [398], ein vom Gelben ins Dunkelbraune spielender, kalkreicher Lehm, der höchst porös und von feinen Kanälen durchzogen ist. Im Gegensatze zu Lateritböden sind Lösslandschaften fruchtbar; dess sind klassische Zeugen die russische Schwarzerde (Tschernosem) im mittleren und südlichen Russland, sowie im südwestlichen Sibirien, und der indische Regur (Cotton-Soil), der, wie v. Richthofen bemerkt [399], seinen Beinamen deswegen führt, weil auf solch feinerdigem, kieselfreiem Boden Baumwolle trefflich fortkommt. Was die Schwarzerde anlangt, so trifft der Name eigentlich nur für deren Oberfläche zu, denn weiter unten weicht diese Farbe der natürlichen Lösspigmentierung. Die beste Schrift über den Tschernosem, von Kostytchew herrührend [400], ist in russischer Sprache erschienen; ihm folgend, hat auch Wollny [401] die agronomisch so wichtige Erdart mustergültig geschildert. Die Ergiebigkeit des mit Schwarzerde gesegneten Gebietes, zunächst des Wolgagebietes, ist eine ganz ausserordentliche; allein der russische Bauer, der weder auf ordentliche Düngung noch auf den die Ermüdung des Bodens verhindernden Fruchtwechsel Bedacht zu nehmen pflegt, hat es doch dahin gebracht, dass sogar dieses vorzügliche Ackerland keine rechten Ernten mehr hergab und den bisherigen Schutz gegen Hungersnöte versagte [402]. Schwarzerde und Regur werden als äolische Gebilde (S. 673) aufgefasst, und diesen stehen als Decken auf sekundärer Lagerstätte die Schwemmgebilde gegenüber, wogegen, wenn man diese beiden Bodenformen als Aufschüttungsböden zusammenfasst, der Eluvialboden (eluere, schlechtlateinische Bezeichnung für auflösen) [403] „sich noch an seiner ursprünglichen Lagerstätte befindet und seine Entstehung den primären Bodenbildnern verdankt". — Vielfach kommen Konkretionen (Lösskindel) vor.

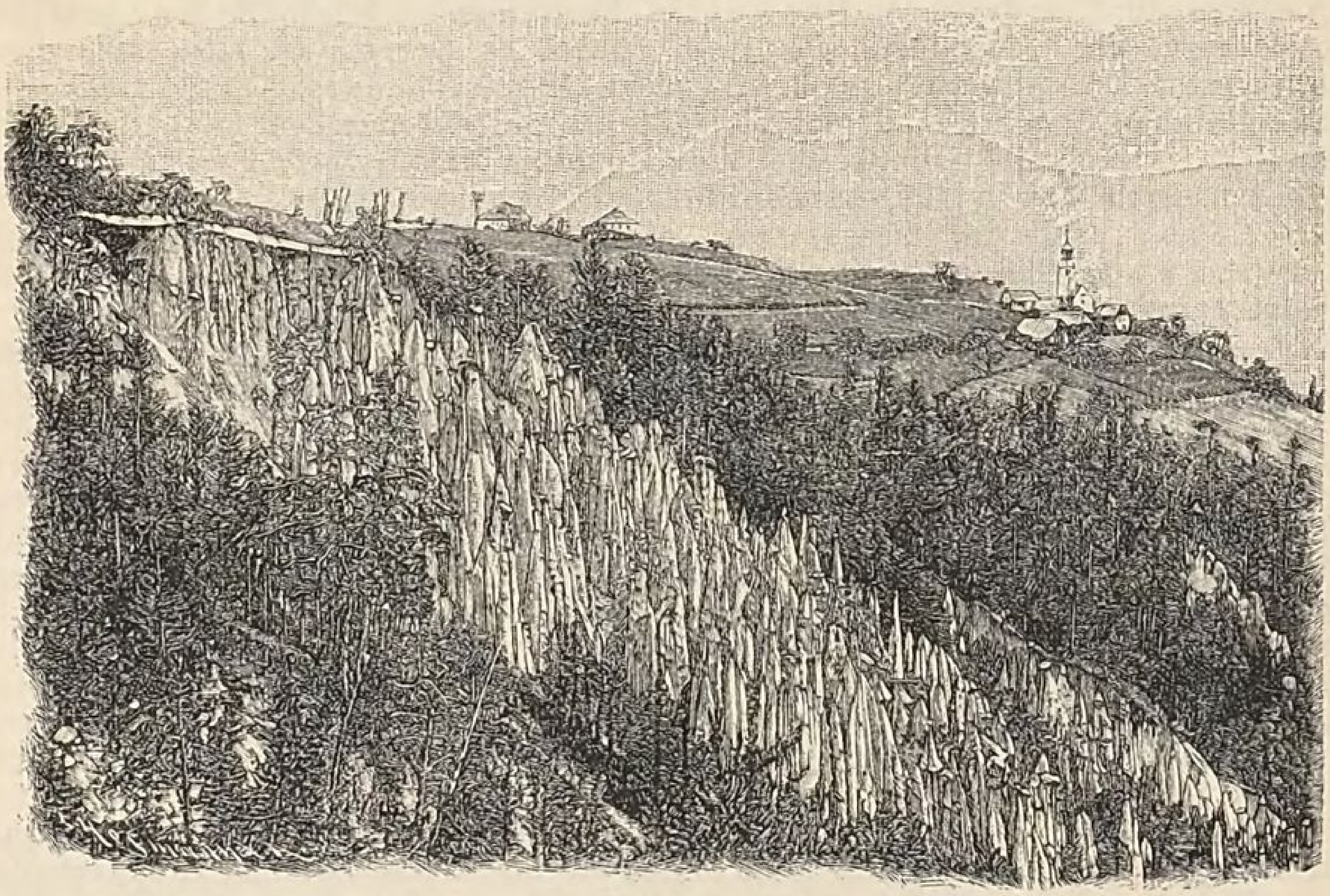
Vor allem unterscheiden wir auch äolischen und fluvioglazialen Löss, welch letzterer durch die aus den schmelzenden Gletschern der Eiszeit abströmenden Gewässer niedergeschlagen wurde. Von der eminenten geographischen Verbreitung der erstgenannten Art sind bereits Beispiele beigebracht worden; auch die Savannen und Pampas Südamerikas, sowie die Ebenen des Gran Chaco sind nach v. Richthofen [404] wahrscheinlich äolische Gebiete. Möglicherweise ist, wie Florschütz [405] ausführt, auch der äolische Löss teilweise ein Residuum der grossen Vergletscherungsperiode, indem zermürbte Moränenreste vom Winde entführt und an entfernten Orten deponiert wurden. Von allen den Lössbildungen, welche als Bestandteile des Glazialgeschiebes definiert werden können, handeln wir in §. 24. Einstweilen möge nur bezüglich der chemischen Zusammensetzung des Lösses auf Boemers [406] Analysen verwiesen werden.

Von allen den zahlreichen Faktoren, welche an der stetigen Ummodellierung der Aussenseite des Erdballes thätig sind, ist die Verwitterung, deren Vielgestaltigkeit dieser Paragraph genugsam erläutert haben dürfte, die machtvollste, so gering auch die Mächtigkeit der Schicht sein mag, welche etwa im Laufe eines Tages den Einwirkungen des Verwitterungsprozesses unter- und erliegt. Teilweise arbeitet derselbe den in der strengen Bedeutung des Wortes erosiven Aktionen vor, teilweise kombiniert er sich mit denselben, so dass es vielfach als eine Sache der subjektiven Anschauung erscheint, eine gegebene Veränderung als durch Verwitterung oder Erosion herbeigeführt zu betrachten. Ein grosser Unterschied besteht jedoch immer: Die Verwitterung kann, muss aber nicht notwendig mit Denudation (S. 602) verbunden sein, wogegen Erosion und Denudation als fast unzertrennliche Glieder des nämlichen Vorganges zu gelten haben; die Erosion löst Teile aus ihrem Zusammenhange los, und die Denudation schafft die Fragmente fort. Drei generelle Möglichkeiten solcher Zerstörung des Zusammenhanges von Steinen und Böden überhaupt

sind vorhanden: die Erosion des Wassers, die Erosion des Windes und die Erosion des Gletschereises.

§. 10. **Erosion und Denudation des fliessenden Wassers.** Ehe wir die Modalitäten und Etappen der Gesteinszerstörung eingehender in Erwägung ziehen, soll das Wesen der vom Wasser geübten Zerstörung an einem Spezialfalle erläutert werden, welcher diesem Zwecke deshalb besonders zu dienen scheint, weil das Auge den Fortschritt des Erosionsaktes sehr leicht kontrollieren kann. Wir meinen die sogenannten Erdpyramiden oder Erdpfeiler (Earth-Pyramides, Earth-Pillars), deren geologische Eigenart Lyell [407] treffend hervorhob, und die neuerdings den Gegenstand einer — sehr umfäng-

Fig. 204.



liche Belehrung erteilenden — Spezialschrift von Kittler [408] gebildet haben.

Man versteht unter einer Erdpyramide eine lotrecht aufragende, aus leicht zerstörbarem Stoffe bestehende Säule von den denkbarst verschiedenen Höhen. Die früher ganz allgemein gehegte Meinung, jeder derartige Obelisk müsse mit einem Steinblocke gekrönt sein, verträgt sich nicht mit den Thatsachen. Nach starkem Regen kann man, wie v. Fritsch [409] bemerkt und Berendt, nach Kittlers Angabe [410], speziell für das norddeutsche Diluvium bekräftigt, Miniaturerdpfeiler auf abgeschwemmten Aeckern beobachten, die sich natürlich nicht lange halten.

Die geographische Verbreitung der Erdpyramiden anlangend, sind zweifellos die bekanntesten jene in der Schlucht des Finsterbaches, der vom Bozener Ritten herab dem Eisack zuströmt. Fig. 204 stellt diese gesellig auftretenden, im Mittel 6 bis 8, im Maximum bis 15 m Höhe erreichenden „Lehmtürme“ — so drückt sich das Volk Tirols aus — im Bilde dar; nach Kittler [411] sind ihrer rund 240. Sonst enthält Südtirol Erdpyramiden im Eggenthale, oberhalb Bozens bei St. Anton und Jenesien, beim Schloss Tirol und, als eine derjenigen des Finsterbaches ganz vergleichbare Kolonie, bei Segonzano im Cembrathale [412]. Nordtirol kennt solche Gebilde an der unteren Brennerstrasse, Osttirol in

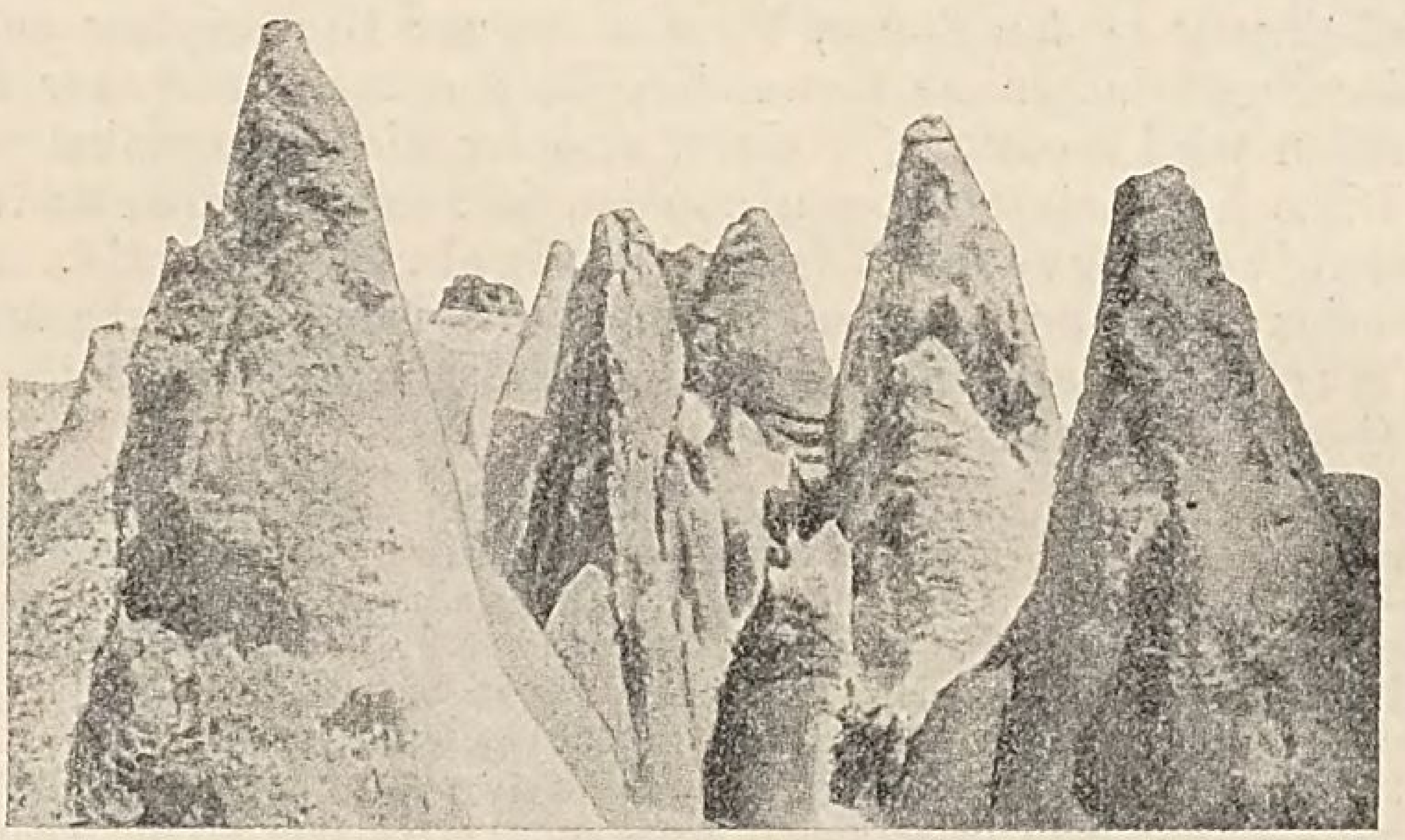
einem Winkel des Pusterthales, wo Rabl [413] abweichende, in Schneiden auslaufende Rücken aufgefunden hat. Dieselben sind aus Tertiärkonglomerat herausgearbeitet, während sonst mehr verwittertes Porphyrgestein das Substrat abgegeben hat. Die Formenmannigfaltigkeit ist eine beträchtliche; mit hohen isolierten Spitztürmen ohne Krone wechseln plumpe, niedrige Pilaster, welche mit dem überlagernden Felsklotze den Eindruck gigantischer Pilze erwecken. Ueber diese Tiroler Vorkommnisse liegen schon ältere Wahrnehmungen von Rohrer [414], Blumenbach [415], Beda Weber [416], Schmidl [417], Schaubach [418], v. Cotta [419] vor. In den Ostalpen kommen Erdpyramiden noch bei Mattsee im Salzburgischen, in der Thalenge Maurach des Oetzthales und längs des nächst Bischofshofen in die Salzach sich ergiessenden Fritzbaches (Salzburg) zur Wahrnehmung [420]. Die älteste Nachricht bezüglich der Westalpen ermittelte v. Boehm bei Saussure [421]; bei Sitten und Siders im Wallis fand letzterer „monticules de formes souvent coniques“, dieselben Naturmerkwürdigkeiten, die von der Folgezeit sozusagen neu entdeckt wurden [422]. Im Alpengebiete französischer Zunge sind die Namen „Dames“, „Nonnes“, „Pyramides des fées“ im Gebrauche [423]; sie sind im Glazialschutte der Französischen Alpen häufig; aber auch im Visperthale, überhaupt im deutschen Ostwallis, kennt man sie [424]. Falsan gibt [425] Abbildungen der „cheminées des fées“ nächst St. Gervais (S. 753), und dieser interessanten Erdstelle thut auch A. Favre [426] Erwähnung. Erdpyramiden in alten Moränen hat Salmoiraghi [427] am oberitalienischen Iseo-See nachgewiesen. Anderweite europäische Vorkommnisse weisen nach Penck [428] die Pyrenäen, nach Toula [429] rumänisches Gebirgsland, Bulgarien und Krym, nach Lecoq [430] die Auvergne, nach van Calker [431] der östliche Schwarzwald (bei Freudenstadt) auf, und das ungarische Waagthal [432] scheint geradezu durch die bunteste Formenfülle dieser Gebiete ausgezeichnet zu sein. — Nur spärlichere Mitteilungen fliessen uns aus Asien zu. Die grossartigen Typen des Hymálaya, durch H. Schlagintweit [433] zuerst beschrieben, bildet Brückner [434] ab, und auch Diener [435] gedenkt der sogenannten Gebetsflaggen. Im Altai begegneten den Erdpfeilern v. Ledebour [436] und v. Helmersen [437], in Kurdistan und Transkaukasien („Tuffpyramiden“) Abich [438], im Kaukasus Fournier [439]; und v. Lóczys [440] „säulenförmig zerklüftete, horizontal abgelagerte, pliozäne Thonschichten“ gehören wohl ebensogut hierher, wie die transkaspischen Gebilde, indem nach Sjoegren [441] „hübsche Pfeiler, aus Lehm und Sandstein herausgemeisselt, in konischer Gestalt bis zu 20 m Höhe anstreben“. Vielleicht die grossartigste Entfaltung jedoch nahm das Erdpfeilerphänomen im östlichen Kleinasien. Man kann in dem Werke Naumanns [442] umfassende Belehrung hierüber finden, und gleicherweise zeichnen [443] R. Oberhummer und Zimmerer sehr anschaulich die — teilweise von Menschen zu troglodytenhaften Wohnungen aptierten — Tuffkegel Kappadokiens (vgl. Fig. 205). Aus Australien fehlen uns noch Aussagen über Erdpyramiden, aber da sie auf der nächst gelegenen Insel Timor von Forbes [444] gesehen wurden, begegnet man ihnen vielleicht auch noch im feuchteren, nördlichen Teile jenes Kontinentes. — Aus dem Norden Afrikas weiss Kittler [445] nur eine einzige Fundstätte von der Insel Tenerife, auf die ihn H. Meyer aufmerksam machte, anzuführen. Dagegen fand Pechuel-Lösche im Lateritboden (S. 883) des Kongolandes zahleiche pittoreske Auswaschungsgebilde auf, die man unbedenklich als Erdpyramiden ansprechen darf, und auch das Kapland besitzt einzelne charakteristische Exemplare [446]. — Weit reichhaltiger ist Nordamerika. Hayden zählte [447] viele Vorkommnisse aus Wyoming, Colorado und anderen Weststaaten auf; Chamberlin lieferte [448] eine interessante Abbildung von rechteckigen Erosionsformen; Endlich stellte [449] die „Accidental Monuments“ (zufälligen Denkmäler) des South River-Thales neben die Bozener Figuren (s. o.); v. Richthofen konstatierte [450] bei den Erdpyramiden am Rio Grande die grösste von solchen Bodenerhebungen erreichte Höhe (100 m). Fernerhin erfahren wir von Felix [451]: „In den mächtigen Gehängeschottern, welche das nördliche Ufer des Bow-River etwa ³/₄ Stunden unterhalb Banff begleiten, finden sich an einer Stelle schöne, Erdpyramiden ähnliche Erosionspfeiler ausgebildet, welche in der Gegend unter dem Namen der ‚Hudars‘ bekannt sind.“ — Auch Südamerika kennt die Erscheinung recht wohl. Aus Venezuela und Neu-Granada liegen Berichte von Sievers [452] und Hettner [453] vor, und Kuntze [454] begegnete ihnen ebensowohl südlich von Caracas, wie auch in Bolivia, wo sie aus diluvialem Laterit aufsteigen. — Endlich ist noch der Nördlichen Polarzone zu erwähnen, wo J. Walther [455] echte Erdpyramiden, Kükenthal [456] „scharfeckige“ Erosions-

gebilde bemerkte, welche Kittler [457] nur als den Erdpyramiden ähnliche Erscheinungen gelten lassen will. Im Inneren der Kings-Bay auf Spitzbergen entdeckte Lovén „Diminutivalpen von 30 bis 40 Fuss Höhe" [458], die nach Beschreibung und Bild gleichfalls hierher gehören.

Als Abarten der Erdpyramiden erscheinen die plumpen, aus Breccien herausgearbeiteten „Hutpilze", bei denen Decke und Stiel, im Gegensatze zu den pilzförmigen Erdpfeilern (s. o.), aus dem gleichen Stoffe bestehen. Vorzügliche Abbildungen dieser sehr sonderbaren Naturspiele sind uns aus dem Dachsteingebiete von F. Simony [459] mitgeteilt worden.

Die Frage der Entstehung der Erdpyramiden streifte zuerst v. Gümbel [460], der das Material der Tiroler Repräsentanten dieses Phänomenes als Glazialschutt erkannte. Lyell (s. o.) ordnete dieselben in die Klasse der vom Regen erzeugten Wirkungen ein; man könne an den Bozener Erdpfeilern ausnahmsweise schön die Aktion des Regenwassers, getrennt von derjenigen des fliessenden Wassers überhaupt, studieren. Dass diese Erklärung zu sehr generalisiere, und dass die Herauspräparierung solch isolierter Massen aus dem lockeren Schuttmateriale ein minder einförmiger Vorgang sei, betonte Ratzel [461], dessen Ansichten erst nach und nach Anklang fanden. Derselbe konnte sich nicht überzeugen,

Fig. 205.



dass die Thon-, Lehm- und Sandgeschiebe, welche in Erdpyramiden zerlegt werden können, tief genug von Spalten durchklüftet sein müssen, um das meteorische Wasser allenthalben einsickern zu lassen, und auch die Decksteine, welchen Lyell eine wichtige Rolle zuschrieb, indem durch ihr Vorhandensein jeder einzelne Turm vor dem Einflusse des Wassers geschützt werden sollte, sind keineswegs eine notwendige Voraussetzung. Nach Ratzel wirken sie nicht, oder doch nicht hauptsächlich, als Schutzmittel, sondern „als die ersten Anlässe der Säulenbildung". Kittler, der sich Ratzel vielfach anschliesst, bezeichnet [462] die Erdpyramiden als durch Steilerosion von oben oder auch von unten durchbrochene Kämme von Schuttwänden oder als die letzten aufragenden Ueberreste von teilweise oder ganz zerfallenen Schuttmauern. Dass auch vertikal von unten nach oben wirkende Zerstörungskräfte beteiligt sein können, wird nach Pechuel-Lösches Beobachtungen [463] geschlossen; will doch Kuntze [464] sogar vulkanische Dämpfe, die also dem Boden entstiegen, als einen wesentlichen Faktor bei der Zerklüftung einer lockeren Tuffdecke auf Java erkannt haben. Und dass der Fluss sehr kräftig bei der Aussägung der Lehmobelisken mitarbeiten kann, beweisen augenfällig diejenigen von Segonzano [465] (s. o.). Kittler betont, dass auch die Art der meteorischen Befeuchtung, die Insolation und Färbung des Materiales und die Windwirkung Berücksichtigung verdienen, und Philippson rät an [466], auch noch der chemischen Beschaffenheit des Schuttes Aufmerksamkeit zuzuwenden. Auf alle Fälle ist erwiesen, dass die Bildung der Erdpyramiden von der Kooperation verschiedener Kräfte abhängig und kein so schematischer Akt ist, wie ihn Lyell (s. o.) sich vorgestellt hatte.

Man muss die Erdpyramiden in eine Kategorie stellen mit den als Gebirgsresten aufzufassenden Felszähnen der Kalkgebirge und nicht minder mit den Penitentesfeldern der Anden (S. 728). Ob Felsgestein, Firnschnee oder Verwitterungsschutt den Stoff der durch erosive Aktionen ausmodellierten Säulen und Türme hergegeben hat, fällt für die Beurteilung des Gesamtprozesses erst in zweiter Linie ins Gewicht.

Die Erosion des bewegten Wassers vermag, das wurde uns soeben deutlich, vertikal zu wirken; doch ist dies nur dann in ausgedehnterem Maſse möglich, wenn das angegriffene Material der Widerstandsfähigkeit ermangelt. Die Erosion der Flüsse, welche uns nunmehr ausschliesslich beschäftigen soll, arbeitet wesentlich in anderer Weise, obwohl Flussbettvertiefung ebenfalls vorkommt (vgl. S. 580). Energisch beginnt die, kurz gesprochen, horizontale Erosion sogar erst dann, wenn, wie Penck [467] hervorhebt, durch das Vorhandensein einer festeren Schwelle, die Tiefenerosion zum Stillstande gebracht ist. Wenn man als Norm annimmt, dass die erosive Kraft P den spitzen Winkel α mit der Horizontalen bildet, so ist P sin α die auf Einbohrung in den Boden, P cos α die zur Bewältigung entgegenstehender Fronthindernisse verwendete Komponente, und nur in Ausnahmefällen wird $P \cos \alpha < P \sin \alpha$, also der Richtungswinkel $\alpha > 45^{\circ}$ sein. Diese horizontale Erosion nun ist, je nach den Umständen, eine progressive, regressive (rückläufige) und laterale. Parallel zur Erosion geht an anderen Orten die Wiederaufspeicherung oder Akkumulation des anderwärts durch Erosion und Denudation abgelösten Gesteinsmateriales.

Die Tiefenerosion ist nach Philippson [468] „diejenige Bethätigung der Wasserkraft, welche zur Ortsveränderung einer gewissen Masse die grösste Arbeit erfordert". Penck führt (s. o.) Beispiele von allgemeinem Interesse an; so hat sich, in beiden Fällen allerdings unter dem Einflusse von Flussregulierungsarbeiten, die Rheinsohle zwischen Rheinweiler und Neuenburg in kurzer Zeit um 2 m [469], die Lechsohle an einer Stelle sogar um 5,21 m [470] gesenkt, und sogar oberhalb der Strecke, welche dem Laufe einer geraden Linie angepasst wurde, machte sich die Vertiefung des Flussbettes bemerkbar. Nasse Jahre beschleunigen die Tieferlegung, weil eben eine stärkere Wassermasse auch energischer in ihrer Stosswirkung ist. Bei einem gewissen Gefälle wird letztere, und damit auch die Zerstörung des Untergrundes unwirksam werden, und so kann man die Frage aufwerfen, ob es nicht eine die Vertiefung der Sohle unmöglich machende Gefällskurve gäbe. Einer Anregung Gilberts [471] folgend, hat Philippson [472] diese als Erosionsterminante (terminare, begrenzen) bezeichnete Profillinie näher untersucht. Mit Dutton [473] werden wir jedoch diese Kurve, die er „Base Level of Erosion" nennt, nicht als eine solche betrachten, mit deren Erreichung der Fluss thatsächlich zu erodieren aufhört, aber wir werden zugeben, dass alsdann die Abnützung des Untergrundes so gut wie unmerklich werden muss. Eine Zykloide, wie Oppikofer [474] meinte, oder eine parabolische Kurve, wie Zollikofers Formel ergeben würde [475], kann die Erosionsterminante nicht sein [476], denn sie muss der Theorie nach gegen den Horizont asymptotisch verlaufen. In der Natur können, darin geben wir Penck [477] unbedingt recht, die Normalgefällslinien keine regelrechten geometrischen Kurven sein, allein die geometrische Prüfung der Verhältnisse, unter welchen ein solch idealer Endzustand erreicht werden würde, ist darum doch nicht ohne Wert. Um die Verhältnisse bequemer überschauen zu können, führte Penck [478] die Begriffe des unteren und oberen Denudationsniveaus ein; oberhalb der Wasserscheiden, welche das Einzugsgebiet des Flussquellbezirkes umrahmen, gibt es keine fluviatile Denudation mehr, und ebensowenig unterhalb des horizontal gedachten Flusspiegels. Strenge genommen fällt also das untere Niveau mit dem von Hilber [479] deshalb als Erosionsbasis bezeichneten Meeresspiegel, dem geometrischen Orte aller Flussmündungen, zusammen. So darf man sich wohl ausdrücken, nachdem die moderne Geodäsie den

minimalen Vertikalabstand (I, S. 229) der einzelnen Erdmeere ausser Zweifel gesetzt hat.

Eine besondere Form der Tiefenerosion ist die Evorsion oder Auswirbelung; diesen gescbickt gewählten Namen hat E. Geinitz [480] eingeführt. Wirbel müssen sich, da sie ja sogar (S. 822) dem normalen Fliessen eigentümlich sind, erst recht bilden, wenn Wasser von oben nach unten dringt, und diese Wirbel, denen häufig noch festes Schleifmaterial seine Unterstützung leiht, höhlen im Untergrunde Löcher aus, die sich im allgemeinen konisch im Boden verjüngen. „Sind diese Löcher tiefer als breit und in festem Felsen eingedrechselt, so nennt man sie Riesentöpfe“ [481]. Sie finden sich häufig im Fels, nicht selten auch auf steinigem Boden der Flüsse; und namentlich am Fusse von Wasserfällen (S. 816), obwohl die Wirkung dieser „Paradeschaustellung der Natur“, wie v. Fritsch [482] sich ausdrückt, hinter den Erwartungen der Menschen gewöhnlich zurückbleibt; so beläuft sich, was der Niagarafall täglich durch Evorsion entfernt, nur auf 30 cm Mächtigkeit. Immerhin ist nach und nach auf diese Weise eine 50 m tiefe Höhlung ausgewirbelt worden. Die Frage, ob die Mehrzahl der Riesentöpfe, die anderwärts Strudellöcher heissen, innig mit Gletscherphänomenen zusammenhängt, soll in §. 24 erörtert werden.

Jede erosive Gesteinsabnützung, welche nicht evorsiven Charakters ist, bezeichnen wir als Korrasion. Das anscheinend von K. Schneider [483] vorgeschlagene Kunstwort, welches mit Abrasion (S. 601) auf gleicher etymologischer Grundlage steht, ist dem Ausdrucke Korrosion (corrodere, zerfressen), den u. a. Penck [484] benützt, vorzuziehen, denn als korrosiv kennt die Pharmazie alle Substanzen, die eine chemische Schädigung auf den Organismus ausüben, und folglich dürfte in unserem Falle, da es sich einzig und allein um mechanische Kraftleistungen handelt, die ältere Namengebung, welche auch Supan [485] beibehält, die präzisere sein. Die Formen der Korrasion sollen nunmehr für sich behandelt werden.

a) Progressive Korrasion. Strömendes Wasser trifft auf ein Hindernis und sucht sich einen Weg durch dasselbe zu bahnen. Je grösser die Stosskraft des Wassers, desto bedeutender ist auch der einem gegebenen Zeitraume entsprechende Eingriff, und da die erstere wieder in bekannter Weise (S. 819) von der Geschwindigkeit abhängt, so gilt der Satz: Die Erosionswirkung, gemessen durch die horizontale Mächtigkeit der in einer gewissen Zeit entfernten Gesteinslage, ist dem Quadrate der Strömungsgeschwindigkeit proportional. Eingehend suchte Milne [486] die Bedingungen der Ablation (Wegführung) losgelöster Fragmente zu fixieren, doch fehlt es zur einwurfsfreien Lösung solcher Aufgaben noch zu sehr an Einsicht in die Verhältnisse, da doch auch die Materialfestigkeit berücksichtigt sein will. Wir können, da uns die Lehre von der Thalbildung zu diesem Untersuchungsgegenstande zurückführen wird, vorläufig von weiterer Besprechung Abstand nehmen.

b) Rückläufige Korrasion. Zunächst ist zwar die Komponente P cos α (s. o.), welche die fortschreitende Korrasion im Gange erhält, mit dem positiven Zeichen versehen, allein insofern das Wasser, in gekrümmter Bahn herabfliessend, auch zugleich vertikal abwärts wirkt, so wird das Gestein nicht bloss nach vorne und nach unten, sondern auch in rückwärtiger Richtung zermürbt und denudiert, und auch rückwärts gräbt sich der Wasserlauf in das Gehänge ein. Die Wichtigkeit auch dieser Bethätigung des Zerstörungsprinzipes hat zuerst Loewl [487] mit Nachdruck vertreten, und in gewohnt feinsinniger Analyse der einzelnen Stadien zerlegte v. Richthofen [488] den Vorgang in seine chronologischen Abschnitte. Auf das Zurückweichen der Wandung, längs welcher das Wasser seinen Lauf nimmt, üben verschiedene Momente Einfluss; einerseits wird die Böschung abgeschrägt, andererseits bohrt sich die Höhlung selbst immer tiefer ins Gestein ein [489]. Eine unmittelbare, mit Händen greifbare Folge der rückläufigen Korrasion erkennen wir im Zurückweichen der Wasserfälle. Aus dem Wasserfalle wird im Laufe ungeheurer Zeiträume vorerst eine Kaskadenreihe, dann eine Stromschnelle und allmählich eine Fluss-

strecke von normalem, mässigem Gefälle. „Der Geneseefall bei Rochester in Nordamerika ist bereits in das Stadium der Kaskaden eingetreten“ [490]. Neuere Berichte über den Niagarafall [491] machen wahrscheinlich, dass dieser imposanten Naturschönheit dereinst auch ein Ende droht. Der amerikanische Fall (S. 817) war in 48 Jahren von (1840 bis 1892) um 9,3635 m und der kanadische Fall war gleichzeitig um 31, 8942 m zurückgegangen. Stabil sind nach Penck [492] Wasserfälle und Stromschnellen dann, wenn in ihrer Nähe das Thalgefälle fortgesetzte Störungen erleidet.

c) Laterale Korrasion. Auch seitlich lockert sich unter der steten Berührung mit bewegtem Wasser die Kohäsion der Felsen, und der Fluss kann sich auch auf seinen beiden Uferseiten mehr und mehr ausdehnen. Falls der Ort, an welchem seitliche Erosion stattfindet, ziemlich unverändert bleibt, kann sich der Effekt dieses Einschneideprozesses ansehnlich verstärken [493]. Krümmel zog [494] die Thatsache ans Licht, dass dann, wenn das eine Flussufer stärker befeuchtet wird, vielleicht auch von Anfang an aus nachgiebigerem Materiale besteht, die sogenannte einseitige Erosion zur Geltung kommt. Hievon und von verwandten Erscheinungen wird in §. 12 und 15 weiter zu reden sein.

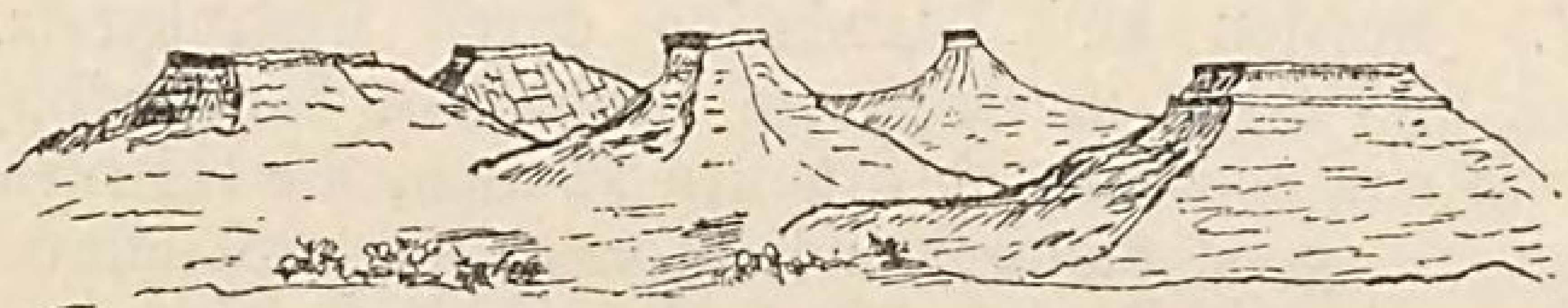
Akkumulation (s. o.) und Erosion stehen insofern in Wechselbeziehung, als die erstere bei örtlicher Minderung der Transportkraft des Flusses steigt und umgekehrt [495]. Daraus folgert Penck mit Recht die Erkenntnis, dass Steppen- und Sickerflüsse akkumulieren müssen. Die Bildung der das Thal an den Gehängen begleitenden Aufschüttungsterrassen gehört zu den Problemen der in §. 15 ausführlicher zu behandelnden Thalbildung.

§. 11. **Erosion und Denudation durch bewegte Luft.** Sowohl durch den eigenen Anprall, als auch kraft des Umstandes, dass sie stets minimale Festkörperchen (vgl. S. 19) in Menge mit sich führt und als Belagerungsgeschosse auf das bestürmte Steinbollwerk wirken lassen kann, wird auch der Wind zum erosiven Faktor. J. Walters Vorgehen [496] gemäss soll diese Art der Erosion Deflation (Abwehung) heissen. Man ist, wie Pencks litterargeschichtlicher Ueberblick [497] lehrt, erst in neuerer Zeit der Bedeutsamkeit auch dieses Elementes gerecht geworden, welches zumal in Wüstenländern an Stelle der fluviatilen Korrasion tritt.

Der Name Deflation ist signifikanter als die von Thoulet [498] vorgeschlagene Wortbildung Abrasion, von welcher wir zudem auch bereits in einem ganz anderen Sinne Gebrauch gemacht haben (S. 601). In wasserarmen Ländern ist, wie die Reisenden bezeugen, der Felsboden zwar auf weite Strecken mit Sand und Grus, anderwärts aber wieder mit grossen Steinsplittern bedeckt, welche die anprallende Luft von der unter dem Einflusse der Sonnenstrahlen (S. 876) verwitterten Wand losgesprengt hat. Je mehr der Wind ruck- und stossweise die Hänge trifft, um so grösserer Leistungen ist die ihm innewohnende mechanische Kraft fähig. Die Deflation wirkt direkt Formen bildend, indem durch sie nachgiebigeres Gestein weggeschafft wird, während kohärentes länger erhalten bleibt. In den südwestlichen Territorien der Vereinigten Staaten konnte Walther [499], den der in zentralasiatischen Verhältnissen bewanderte Russe Krasnow begleitete, interessante Vergleiche zwischen den regional veränderten Eingriffen der äolischen Denudation anstellen; als gemeinsam erkannte er die Horizontalität der Denudationsflächen und den Mangel örtlicher Anhäufungen von Denudationsprodukten. Allerdings sind andere Gelehrte, wie v. Zittel [500] und Penck [501], nicht geneigt, die Windkorrasion in so weitem Umfange, wie dies Walther thut, als morphologischen Faktor anzuerkennen, und namentlich der erstgenannte hält dafür, dass doch auch in jenen Regionen das Wasser dereinst eine energischere Aktion entfaltet habe.

Sehen wir nun zu, was für Formen, wenigstens nach der Ansicht mancher Geologen, der als Sandgebläse zu bezeichnende Wind auszumodeln im stande ist. Er glättet [502] die Wüstenkiesel, schleift Felsblöcke ab und bewirkt, dass sich nackte Wände, ebenso, wie isolierte Trümmer, mit eigenartigen Streifen überdecken. Die Pyramidal- oder Kantengeschiebe, über welche u. a. Mickwitz [503] und Walther [504] Aufschluss erteilen, und welche man in vielen Teilen Europas, aber auch in Neu-Seeland findet, wurden dadurch erzeugt, dass der Wind die Flächen der einzelnen Stücke geradezu facettierte. Sehr ins einzelne gehende Beobachtungen über die Art dieses Schliffes teilte aus den Umgebungen von Prag Frejlach [505] mit. Wahrscheinlich werfen auch einiges Licht auf den Abreibungsvorgang die feinen Experimente von Prinz [506] über zarte Eindrücke, welche Glas empfängt, wenn man einen Diamanten unter leichtem Druck daran hinbewegt; anfänglich überzieht sich die Gesteinsfläche gewiss auch nur mit solchen leicht eingegrabenen Linienzügen, und erst nach und nach vermehren und vertiefen dieselben sich so, dass eine flächenhafte Abnützung der ganzen der Sandwehung ausgesetzten Seite des Steinfragmentes stattfindet. Zunächst gilt dies für Kalkstein, während Massengestein eine von Anfang an rauhere Oberfläche aufweist. — Nächstdem höhlt der Wind sowohl festes als lockeres Material aus, wie sich dies auch bei der Lehre von der Seenbildung (in §. 20) noch weiter ausweisen wird. Ein drastisches Beispiel der Winderosion sind die arabischen

Fig. 206.



Fuldjes; nach dem Reiseberichte Lady Blunts aus der Wüste Nefud charakterisiert Lullies [507] dieselben als „Vertiefungen von der Form eines Pferdehufes, nach der Zehe zu mit steil abfallendem Rande, nach der Hacke allmählich steigend, am Boden von Wasserrinnen durchfurcht, die alle der tiefsten Stelle zustreben.“ Die Bildungen sind offenbar rezent, und bei der Seltenheit der Niederschläge, welche ja der Beschreibung zufolge auch beteiligt waren, muss die Austiefung einer örtlich gesteigerten Gebläsewirkung des Windes zugeschrieben werden. Höhlen im anstehenden Gesteine, Nischen und Amphitheater, fand J. Walther [508] in der afrikanischen Wüste; sie können durch kein anderes erosives Agens ihre Gestalt empfangen haben. In Südafrika sind Pechuel-Lösche [509] ganz besonders abenteuerlich zerrissene Felsbildungen aufgestossen; tief eingeschnittene Nischen, welche teilweise nur noch durch schmale Pfeiler aus härterem Fels von einander getrennt waren. Auch in unserem Erdteile hat man Deflationswirkungen konstatieren zu können geglaubt. Die Dislokationen am „Store Klint“ der Kreideinsel Moën sind nach R. Credner [510] dadurch dem Auge recht erkennbar geworden, weil die Erosion hier einsetzte, und speziell wird eine Reihe auffallender loch- und kanalartiger Vertiefungen auf Deflation zurückgeführt. Auch manche sonst nicht recht zu verstehende Höhlungen im Sächsischen Elbsandsteingebirge will Kraus [511] der Windkorrasion zugerechnet wissen. Vor der allfallsigen Verwechslung äolischer und glazialer Schliffe kann nur Erfahrung schützen. — Wenn endlich die Stützen des Erosionsgewölbes mehr und mehr fallen, entstehen grosse Zwischenräume im bisherigen Oberflächenbau, und nur einzelne wetterharte Erhöhungen, man könnte sie Restberge nennen, gestatten die ideelle Wiederherstellung des einstmaligen Zusammenhanges. Dahin gehören die in der arabischen Sprache Zeugen benannten tischförmigen Hügel, wie wir sie, nach Walthers Darstellung [512], in Fig. 206 vor uns sehen. Ein Zeuge ist eine abgestumpfte Pyramide mit (s. o.) nahezu vollständig horizontaler Deckfläche. Ganz ähnliche Bildungen, von den Neuspaniern „Mesas“ (Tische) genannt, enthält Neu-Mexiko. Löw, der uns mit einer Anzahl solcher flach abgeschnittenen Hügel (Mesa rotonda, Mesa de los labos, Mesa de la pietra lumbre, Mesa de la ventana u. s. w.) bekannt macht [513], denkt sich die Herausarbeitung dieser Hügel aus dem Gelände durch die Erosion des dereinst hier flutenden Kreidemeeres bewerkstelligt, aber näher scheint doch auch hier die Annahme einer Zerstörung der entfernten Gebirgsglieder durch den mit Sand beladenen Wind zu liegen. Die Pilzfelsen Irlands,

welche Kinahan [514] beschreibt, und die berühmte Natursäule von Wyoming, der eine treffliche Tafel bei Neumayr-Uhlig [515] gewidmet ist, gehören ebenfalls hierher, und sogar Naturbrücken (S. 800) sollen, wie Contejean [516] meint, durch Deflation entstehen können. Einen in sonderbar labiler Lage (S. 882) aufrecht stehenden Konglomeratblock kann man wiederum bei Neumayr-Uhlig [517] abgebildet sehen. Er war in weichen Schiefer eingebettet, der ringsum vom Flugsande weggebeizt wurde, so dass nur der unförmliche, auf schmalem Piedestale ruhende Klotz übrig blieb.

Davon, dass auch der Wind, und zwar in sehr weitem Umfange, akkumuliert, was anderwärts von ihm durch Denudation weggenommen war, hatten wir uns schon früher (S. 673) überzeugen können. Umlagerung und Aufbereitung vollenden, wie die Darlegungen v. Richthofens [518] zeigen, was Erosion und Denudation begonnen hatten. Teils bedeckt der zermürbte, in Staub verwandelte Sand, wie wir wissen, in mächtigen Schichten, alle Senken nivellierend, weite Erdräume, teils auch wird der Sand zu Hügeln zusammengeweht, die, soweit sie nicht den Meeresdünen (S. 615) zuzuzählen sind, in §. 22 an die Reihe kommen werden.

§. 12. **Erosion und Denudation durch Gletschereis.** Zu den schwierigsten und meist umstrittenen Problemen der Erdphysik gehört unstreitig, wie wir uns kurz ausdrücken können, die Glazialerosion. Ursprünglich als geodynamischer Faktor kaum in Rechnung gezogen, trat dieselbe erst seit Beginn dieses Jahrhunderts hervor, dann aber bald so sehr in den Vordergrund, dass man mit dieser Kraft die einschneidendsten Oberflächenveränderungen erklären zu können glaubte. Diese weitgehende Ansicht fand vielen Widerspruch, und etwa ein Jahrzehnt lang dauerte der Streit, indem man im allgemeinen physikalische Bedenken gegen die Möglichkeit einer Gletscherwirkung von namhafterem Betrage geltend machte und doch zugleich mit geologischen Nachweisen für die Realität solcher Wirkungen rechnen musste. Erst seit wenigen Jahren bahnt sich immer deutlicher ein Kompromiss zur Versöhnung der sich entgegenstehenden Extreme an.

Die Geschichte der glazialgeologischen Anschauungen hat Penck [519] geschrieben, und bei ihm kann man lesen, wie man aus schwachen Anzeichen heraus die Möglichkeit erkannte, dass ein Gletscher den von ihm überdeckten Untergrund abzuglätten vermöge. Das erste Verdienst kommt, wie Siegfried [520] darthat, dem Ingenieur Venetz [521] zu (S. 736). Aber erst durch die Entdeckung der Grundmoräne (S. 739), welche nach Penck [522] unbedingt auf Martins zurückzuführen ist, wurde die Thatsache, dass der sich langsam fortbewegende Gletscher das Bett aufarbeitet, ausser Zweifel gesetzt. Die später zu erwähnenden Schliffe, Rundhöcker und Schrammen bestätigten vollauf die schon vorbereitete Erkenntnis. Und nun ging man immer weiter, und vor allem wurde die Zulässigkeit der Hypothese, dass der Gletscher Becken aushobeln könne, ernsthaft ins Auge gefasst, wie §. 20 eingehender schildern wird. Die Phasen der sich hieran anknüpfenden Polemik lernt man wiederum am besten durch Pencks die ganze Litteratur würdigenden Essay [523] kennen. In neuester Zeit ist vielleicht am entschiedensten v. Boehm [524] für die radikale Erosionstheorie, wie man wohl sagen darf, eingetreten, der auch Penck [525] das Wort redete. Die physikalische Schwierigkeit, sich eine stärkere Zerstörung durch eine Eismasse von sehr geringer Bewegungsgeschwindigkeit als möglich vorzustellen, wurde von Zoeppritz [526] und Oldham [527] allseitig erörtert, und wenn Penck [528] dem letzteren entgegnete, seine Rechnungen bezögen sich lediglich auf starres Eis, so ist das zwar gewiss zutreffend, aber es lässt sich eben gerade der Satz verteidigen: Von einer starren Masse sind namhafte

Erosionswirkungen weit eher als von einer plastischen Masse zu erwarten, als welche das Gletschereis (S. 732) erkannt worden ist. Eine mathematische Entscheidung der Frage in dem von Zoeppritz angedeuteten Sinne ist für den gegenwärtigen Stand unseres Wissens nicht zu erhoffen; das geht aus dem prekären Resultate des an sich sehr anerkennenswerten Versuches hervor, welchen Odin [529] angestellt hat. Mit Aufgebot eines stattlichen Ausmasses von höherer Rechnung ergeben sich nur einzelne sozusagen unmittelbar zu Tage liegende Wahrheiten über die Art der Gletscherbewegung, und speziell für die Frage der glazialen Erosion lässt sich dem Formelapparate keinerlei wichtigerer Aufschluss entnehmen.

Gewiss kann ein rasch bewegter, wiewohl weicher Körper einen härteren stark affizieren; dafür liefern die vielleicht noch zu wenig gewürdigten Experimente [530] von Perkins, Darier, Colladon, Allon und Pleischl den überzeugenden Nachweis. Ein aus Kupfer oder weichem Eisen bestehendes, sehr rasch umlaufendes Rad machte Einschnitte in stählerne Grabstichel und Feilen, welche man von dessen Peripherie berühren liess. Gletscher jedoch bewegen sich, seltene Ausnahmefälle abgerechnet (S. 471), mit grosser Langsamkeit, und in dem Faktor v des die lebendige Potenz $\frac{1}{2} m v^2$ der vorrückenden Eismasse (m Masse, v Geschwindigkeit) darstellenden Produktes kann die Ursache allfallsiger Erosion gewiss nicht gesucht werden. Und, wenn auch m einen hohen Betrag erreicht, so ist doch nicht abzusehen, wieso eine plastische Substanz hartes Gestein durch blossen Druck soll erheblich angreifen können. Dem zu begegnen, wurde von Penck [531] u. a. nicht sowohl dem Eise selber die Schleifwirkung zugeschrieben, sondern vielmehr den in den Gletscher eingebackenen, aus seiner Unterfläche hervorragenden Steintrümmern. Allein auch dann ist eine beträchtliche Zerstörung undenkbar, weil das Eis (s. o.) plastisch ist. Durch den bedeutenden Druck, welchen der Fremdkörper erleidet, wird er gezwungen, sich sowohl in den Untergrund, als auch in die ihn tragende Eismasse einzubohren, und wenn die Tiefen, bis zu welchen er in Stein und Eis eindringt, bezüglich t_1 und t_2 sind, so folgt aus dem Plastizitätsbegriffe die Ungleichung $t_1 < t_2$. Und zwar bleibt t_1 weit hinter t_2 zurück. Glättung und Schrammung des Gletscherbettes kann und muss als eine Konsequenz des Umstandes, dass überhaupt t_1 existiert, unbedingt zugestanden werden, allein die Abhobelung entgegenstehender Hindernisse scheint auf diese Weise nicht geleistet werden zu können.

Wenigstens nicht, so lange das Gestein starr und von grosser Widerstandskraft ist. Allein das eben trifft nach den Versuchen [532] von Finsterwalder und Blümcke nicht zu. Die Studien des zweitgenannten Physikers über Frostbeständigkeit (S. 877) hatten den Weg zu der Erkenntnis gebahnt, dass sich schon bei einmaliger Einwirkung von Frosttemperaturen auf noch so fest gefügtes Gestein ein wo nicht sichtbarer, so doch mess- und wägbarer Substanzverlust ergebe, und die neue Versuchsreihe hat dies vollkommen bestätigt. In den tieferen Gletscherschichten herrscht (S. 733) stets eine sehr niedrige Temperatur, und durch deren Einflüsse tritt eine anhaltende, nicht unbeträchtliche Verwitterung der vom Gletscher bedeckten Felslage ein, so dass die Gletscherbewegung nicht festes, sondern bereits zermürbtes Material aufzuarbeiten und als Grundmoräne fortzuführen hat.

Von der Mächtigkeit des Gletschers kann dabei, als unwesentlich, abgesehen werden, weil eben nicht der Druck, sondern die Frostwirkung der entscheidende Erosionsfaktor ist. Gewiss erodieren also die Gletscher, aber gerade Finsterwalder, der dieses Faktum erst klar bewiesen hat, betont bei anderer Veranlassung [533]: „Wir dürfen von Glazialerosion auch nicht zu viel erwarten, namentlich nicht ähnliches, wie von der Erosion durch fliessendes Wasser.“ Ueber die Bildung der Grundmoräne verbreitet ein weiterer Aufsatz von Blümcke [534] Licht; das Eis wird durch seine Plastizität in die Schutt- und Sandmassen hineingedrückt und veramalgamiert sich mit den-

selben zu einem so gut wie einheitlichen Ganzen. Einfache Versuche lehrten, dass durch das Zwischentreten dieser Mengschicht die Bewegung des Gletschers durchaus nicht alteriert wird.

Wir möchten glauben, dass auch Heim, dessen Handbuch [535] auf dem Grunde der damals zugänglichen Erfahrungsthatsachen steht, sein der radikalen Glazialerosionshypothese ungünstiges Urteil zwar in den Hauptpunkten aufrecht zu erhalten, aber doch ähnlich, wie es hier — gegenüber unserer ersten Auflage [536] — geschehen ist, zu mildern geneigt sein würde. Eine „splitternde Thätigkeit“ des Gletschers, wie sie Baltzer [537] für gegeben erachtet, kann unbedingt zugestanden werden, wenn der Eisdruck gegen zersetztes Schiefergestein u. dgl. gerichtet ist. Die von Baltzer in Aussicht genommene Beobachtungsreihe, um im Terrain, auf dem Bette eines im Vorrücken begriffenen Gletschers, ein genaues Mass glazialer Denudation herauszufinden, kann uns zu schätzbarer Einsicht in die quantitative Seite dieser Art von Erosion verhelfen. Bei der Ablehnung der Möglichkeit aber, dass ein Gletscher in Felsgrund Hohlräume auszutiefen im stande sei, bleiben wir bestehen.

§. 13. **Beträge und Konsequenzen des Denudationsprozesses.** Wenn Verwitterung, fluviatile, äolische und glaziale Erosion zusammenwirken, muss ersichtlich der Festboden der Erde auch in kleineren Zeiträumen tiefer gehende Veränderungen erfahren; dort wird durch Denudation erniedrigt, hier durch Akkumulation erhöht, und der Nivellierungsakt sucht die Vertikaldistanz zwischen oberem und unterem Denudationsniveau (S. 888) möglichst zu verkleinern. Ein generelles Mass für die nie rastende Denudation zu erlangen, verbietet sich natürlich von selbst; man muss sich mit Schätzungen begnügen, zu deren Anstellung eine den folgenden Mitteilungen zu Grunde liegende Arbeit von Brückner [538] gute Anleitung bietet.

In sehr dankenswerter Weise hat G. Karsten [539] die Kleinarbeit des Regenwassers quantitativ bestimmt. Nach Messungen in den die Stadt Kiel umgebenden Wäldern kamen in 30 Jahren Freilegungen von Baumwurzeln bis zu einer Höhe von 40 cm vor; im Durchschnitte ist die normale, vom Regen bewirkte Denudation im Jahre auf 1 cm zu veranschlagen. Ueber die Mengen von Festkörpern, welche ein Fluss fortschafft, wurden schon oben einige Mitteilungen gemacht (S. 825); damals jedoch interessierten uns diese Zahlen lediglich unter dem potamologischen Gesichtspunkte, während sie nunmehr ein hohe morphologische Bedeutung gewinnen. Graf [540] berichtet, dass die Kanderregulierung im Berner Oberlande (S. 833) eine vortreffliche Gelegenheit zur Anstellung genauer Beobachtungen bot; als der reissende Fluss in sein neues Gerinne hineingeleitet war, wühlte er 40000 cbm täglich auf, um sie in den Thuner See hinauszuflössen, und aus dem ursprünglich künstlich gegrabenen Bette wurde bald eine tiefe Erosionsschlucht. Steck [541] hat den Rauminhalt des in 152 Jahren (1714—1866) aufgeschütteten Deltas (S. 625) berechnet und rund 47 Mill. cbm dafür gefunden. Da begreifen sich auch andere Zahlen, welche Brückner [542], teilweise auf Angaben von Forel [543] und A. Heim [544] gestützt, zusammenstellt; nachstehend folgt seine Tabelle der jährlichen, in Millimetern ausgedrückten Abtragung des Einzugsgebietes (S. 823) einer Anzahl von Flüssen:

Elbe (oberhalb Tetschen)	0,012	Amu Darja	0,120
Seine (oberhalb Paris)	0,024	Indus	0,270
Maas (oberhalb Lüttich)	0,050	Ganges	0,300
Donau (oberhalb Wien)	0,056	Irawady	0,310
Arve (oberhalb Genf)	0,210	Yangtse-kiang	0,070
Reuss (oberhalb Flüelen)	0,180	Nil	0,013
Rhône (oberhalb Villeneuve)	0,440	Mississippi	0,045

Man weiss ja freilich, dass jede Einzelzahl keinen Anspruch auf hohe Genauigkeit machen kann, allein die Verhältnisse werden, da die Berechnungsfehler überall so ziemlich die gleichen sind, ungefähr zutreffen, und so ersieht man beispielsweise, dass die denudatorische Wirkung der Alpenflüsse diejenige der Mittelgebirgsflüsse ansehnlich übertrifft. Wenn erst die in der Schweiz vorgesehenen

systematischen Abtragungsmessungen vorliegen, werden wir die enorme Leistung der still schaffenden Zerstörungskraft von Wasser, Luft und Eis mit grösserer Sicherheit zu schätzen lernen.

Die verschiedenen Bethätigungen der Denudation, verbunden allerdings mit anderen, im grossen Ganzen aber weit weniger einflussreichen Faktoren, bewirken die mannigfaltigsten Umgestaltungen der Erdoberfläche. Massen, die auf geneigter Unterlage ruhten, werden zum Absturz gebracht; im Inneren der Berge werden Hohlräume ausgelaugt; das fliessende Wasser verlässt die alten Bahnen und schafft sich mit Gewalt neue Wege; unter der Gesamteinwirkung aller dieser Agentien entstehen Binnenseen an Orten, wo sich vordem solche nicht befanden. Damit ist das Programm unserer nächsten Paragraphen vorgezeichnet.

Wir beginnen mit den von Penck [546] treffend als Massentransporte bezeichneten Ortsveränderungen grösserer Erd- oder Felsmassen und lassen darauf die Höhlenbildung folgen. Die Thalbildung reiht sich an, und zwar steht dieselbe in engster Fühlung mit der Verlegung der Wasserscheiden, der Morphologie der Flussbetten und der Verlegung der Flussläufe. Auch die Entstehung der Seebecken (vgl. S. 660, 769) erscheint in den allermeisten Fällen als eine sei es direkte, sei es indirekte Folge der Denudation.

§. 14. Massentransporte. Wenn wir vorerst davon absehen, dass eine schärfere Verfolgung des Ablösungs- und Bewegungsvorganges das Wort Bergsturz als ein zu allgemeines, das Wesen der Sache nicht hinreichend genau treffendes erkennen lässt, so können wir, indem wir die Staubsedimentierung als durch Kap. I, §. 7, die Lawinen durch Kap. III, §. 3 ausreichend erledigt betrachten, wesentlich vier katastrophenartige Ereignisse als nahe verwandt zusammenfassen. Dies sind die Bergstürze, die Uferrutschungen, die Erdfälle und die Muhrbrüche des Hochgebirges; auch die freilich sehr seltenen Torfmoorausbrüche (S. 786) gehören in die gleiche Kategorie.

Eine anregende Betrachtung über die Art dieser Bewegungen und über die Rolle, welche denselben in morphologischer Hinsicht zugeteilt ist, hat Reyer [547] angestellt. Gemeinschaftlich ist stets die Ursache: Schichten liegen auf einer geneigten Fläche und ermangeln der richtigen Pilotierung (pilote, franz. = Rammpfahl), so dass die stets thätige Denudation sie in Bewegung zu setzen vermag. Dass diese Bewegung, den Fallgesetzen entsprechend, bald eine rapide wird, ist bekannt und bereits bei der Besprechung der Gletscherstürze (S. 751) hervorgehoben worden; Verheerungen aller Art sind deshalb mit einem Massentransporte unabwendbar verbunden. Wenn dergleichen nicht so häufig vorkommt, wie man angesichts der so zahlreichen Veranlassungen zur Lockerung des Zusammenhanges vermuten möchte, so rührt dies daher, weil stets, wenn zwei Flächen sich berühren, ein — von gleichem Gegendrucke begleiteter — Druck stattfindet, dem eine tangential wirkende Kraft, die der Reibung, entspricht. Wenn p der Druck, f der sogenannte Reibungskoëffizient ist, so wirkt die Kraft fp der Trennung der beiden sich in jener Fläche berührenden Massen entgegen. Die Frage, wie Druck und Reibung bei Massen von verschiedener Konsistenz sich verhalten müssen, um eine Trennung zu verhindern, ist eine theoretische und von Boussinesq [548] und Darwin [549] analytisch untersucht worden. In elementare Form hat Penck [550] die Bedingungen gekleidet, durch deren Existenz der Zusammenhalt gewahrt, die Loslösung verhindert wird. Dass, wie J. Geikie [551] darlegt, Berge mit antiklinaler Schichtenstellung leichter, wie solche mit synklinaler (S. 849), der Zerstörung durch Abtrennung grösserer Massenbestandteile anheimfallen, ist leicht abzusehen.

Eine Theorie der Bergstürze ist durch Heim [552], Rothpletz [553] und Pollak [554] vorbereitet worden, und durch zahlreiche monographische Schilderungen älterer und neuerer Katastrophen

dieser Art erhielt unser einschlägiges Wissen wertvolle Vermehrung. Es handelt sich, wenn man die einzelnen Vorkommnisse klassifizieren will, wesentlich um den Gegensatz zwischen Rutschungen — längs einer Rutschfläche — und eigentlichen Stürzen. Auch bei den letzteren werden parabolische Bahnen der Trümmerstücke in der Luft schwerlich die Regel bilden; dass aber solche Bewegungen auch möglich sind, scheint uns durch Erfahrungen, die beim Elmer Bergsturze (s. u.) gewonnen wurden, wahrscheinlich gemacht zu sein, und bis zu einem gewissen Grade stimmen wir also mit der von Rothpletz (s. o.) vertretenen Ansicht überein.

Heim unterscheidet bei dieser Erscheinung, die gewöhnlich nicht weiter differentiiert wird, und für die auch die französische Sprache nur das einzige Wort „éboulement“ kennt, mehrere nach Ursache und Art des Auftretens grundverschiedene Formen. Wir geben sein Schema wieder, indem wir charakteristische geographische Fälle in Klammern beifügen; es ist das folgende:

Schuttbewegungen (Schuttbrüche).
- I. Schuttrutschungen (Herdern, Fetan);
- II. Schuttstürze (Bilten, Sonnenberg);

Felsbewegungen (Felsbrüche).
- III. Felsschlipfe (Goldau);
- IV. Felsstürze (Plurs, Felsberg, Elm);

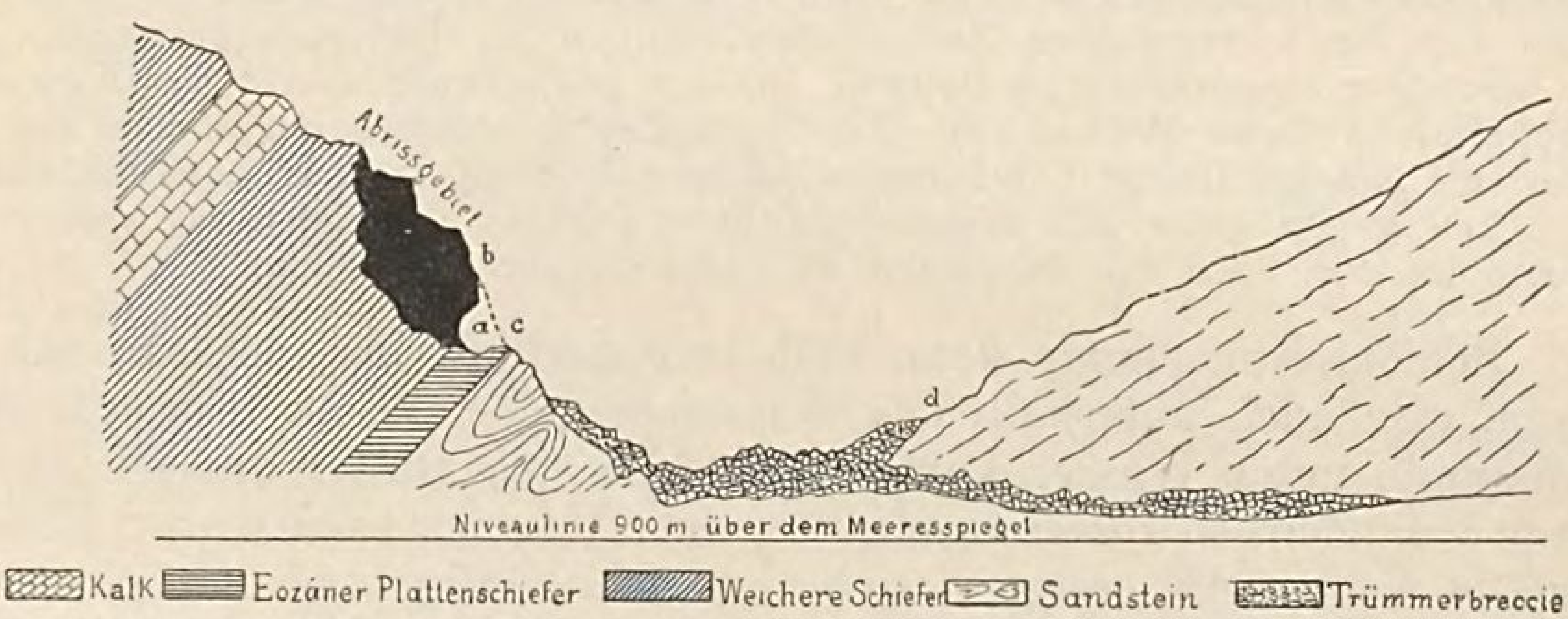
V. Gemischte Bergstürze (Brienz in Graubünden) und zusammengesetzte Bergstürze (Vitznau am Rigi).

Die Ufereinstürze, welche von den Uferrutschungen wohl geschieden werden müssen, und die sogenannten Erdfälle gehören in die selbständige Klasse der besonderen Einstürze. Die Spezialeinteilung nimmt auch Pollack [555] an, ohne doch den grundsätzlichen Gegensatz zwischen Fels- und Schuttbewegung anerkennen zu können. Wohl aber teilt dieser Ingenieurgeologe die Rutschflächen in Schicht-, Absonderungs- und Bruchflächen. Jedenfalls zerfällt das betroffene Gesamtareal, nach Heims Begriffsbestimmung, in Abrissgebiet, Sturzbahn und Ablagerungsgebiet, wozu dann noch die einen Teil des gegenüberliegenden Abhanges in Mitleidenschaft ziehende Spritzzone (S. 752) kommen kann. Das Ablagerungsgebiet stellt sich dar als ein Trümmerwirrsal, in dessen Einerlei Schlammströme einige Abwechselung bringen. Die morphologischen Nebenwirkungen eines Bergsturzes werden uns hauptsächlich in §. 20 beschäftigen.

Man kennt prähistorische, der geologischen Vergangenheit angehörige, und geschichtlich bezeugte Bergstürze; von diesen letzteren gehören sogar manche recht eigentlich der Gegenwart an und können von uns in allen Einzelheiten überblickt werden. Manchmal ist eine gewaltige Fläche mit Trümmern überdeckt. Die Flimser Breccie in Graubünden erwies sich bei Hartungs und Heims Untersuchung [556] nicht bloss als vereinzelter, alter Bergsturz, sondern geradezu als Bergsturzterritorium; ähnlich liegt die Sache bei den Slavini di San Marco nächst Rovereto, auf die schon Dante — als Gast eines Dynasten auf dem Schlosse Avio bei Ala dichtete er einen Teil der „Hölle“ — in unverkennbarer Weise anspielt [557]: „. . . Dem Bergsturz gleich, der, wo die Etsch hinwallt, diesseits Trients, die Seite ihr getroffen, sei es durch Erdstoss oder lockern Halt.“ Die ältere Meinung, dass dieses Trümmerfeld eine alte Oberflächenmoräne sei, suchte Suda [558] durch neue Argumente zu bekräftigen, aber Benecke [559] und Penck [560] erklären jenes für das, was es auch dem Auge des unbefangenen Beschauers zu sein scheint, für ein Bergsturzresiduum. Und zwar dürfte es im letzten Stadium der Eiszeit entstanden sein. Einen diluvialen Felssturz hat Heim [561] in der Glärnisch-Gruppe aufgedeckt; er muss von gewaltiger Energie gewesen sein, denn in der Spritzzone (s. o.) wurden die Blöcke bis hoch an der entgegenstehenden Wand hinaufgetrieben und blieben da „wie eine erstarrte Rückbrandungswoge“ stehen. Da sich eine Grundmoräne mit geschrammten Geschieben diesen Ausläufern des Bergsturzes auflagerte, war die Möglichkeit geologischer Alterbestimmung (S. 677) gegeben. Wohl der furchtbarste aller bekannten Bergrutsche war jener, welcher am 4. September 1618 das Städtchen Plurs (bei Chiavenna) zum überwiegenden Teile verschüttete [562]; ein die wenigen erhaltenen Reste mit dem Zustande vor dem Unglücksfalle vergleichender, zeitgenössischer Holzschnitt ist noch in mehreren Exemplaren erhalten, gelangte auch in Merians „Topographie“ von

1654 und befindet sich u. a. auch in der k. Hof- und Staatsbibliothek zu München. Der verhältnismässig nüchterne Bericht des Bündnerhistorikers v. Sprecher macht einen Verlust von 930 Toten namhaft. — Der Südabhang der Alpen ist überhaupt reich an solchen Schicksalsschlägen. Im Gelände nördlich des Comer-Sees wurde 1760 das Dorf Santo Abondio, 1858 das Dorf Prosto durch Stein- und Schlammströme zugedeckt; 1512 litt schwer der tessinische Flecken Biasca; 1584 sollen bei dem Bergsturze von Yvorne 328 Menschen das Leben verloren haben; 1714 und 1769 lösten sich Felsmassen von den Diablerets los, und zwar brach im letzteren Falle angeblich der ganze Berggipfel ab, so dass, wie man sagt, für einen waadtländischen Ort die Sonne seitdem um ein paar Minuten früher aufgeht. Stillfried, dem wir alle diese Notizen verdanken, erzählt auch [563], dass durch dieselbe Ursache 563 n. Chr. die römische Stadt Taurodunum (Tourteron) im Unterwallis ihren Untergang fand; ein östlicher Ausläufer des Genfer-Sees soll damals zugeschüttet worden sein. Ebenso schlimm erging es im Jahre 1348 der Stadt Villach; ein gewaltiges Stück Felsdecke stürzte vom Dobratsch nieder und staute die Gail unheilvoll auf. Damals hatte übrigens (I, S. 452) ein Erdbeben den unmittelbaren Anstoss gegeben, wie Hoernes [564] näher darlegt. Aus allerjüngster Zeit entsinnt man sich allgemein des Bergsturzes von Airolo, betreffs dessen eine Beschreibung von Tarnuzzer [565] vorliegt. Am 27. und 28. Dezember 1898 wurde

Fig. 207.



ein Teil des hart vor dem Südausgange des St. Gotthard-Tunnels gelegenen Dorfes zerstört, und es gewinnt den Anschein, dass einige besonders gefahrdrohende Felspartien noch durch Sprengung werden unschädlich gemacht werden müssen, wenn kein weiterer Unfall sich ereignen soll.

Bergstürze und Bergschlipfe aus Mittelgebirgen werden einleuchtenderweise seltener als aus Hochgebirgen gemeldet, aber unerhört sind sie auch in den ersteren nicht. Regel thut [566] verschiedener thüringischer Vorkommnisse Erwähnung, und K. Schmid [567] liefert Ergänzungen dazu. Nicht minder macht Angersbach [568] darauf aufmerksam, dass die häufig vorkommende Einbettung lettiger Schichten zwischen Buntsandstein und Muschelkalk (S. 679) das deutsche Mittelgebirgsland stetig solchen Bedrohungen aussetze. Durch alle Zeitungen ging die Nachricht, dass im Frühjahr 1899 das Städtchen Wildenmann im Harz ernsthaft durch Gehängerutschungen gefährdet wurde.

Als sozusagen klassisch können gelten die beiden Katastrophen von Goldau (Kanton Schwyz) und Elm (Kanton Glarus), klassisch deshalb, weil sie besonders grosses Aufsehen erregt und Anlass zu litterarischer Erörterung geliefert haben. Ueber das Goldauer Ereignis vom 2. September 1806, dem die Ortschaften Busingen, Röthen, Goldau und — grossenteils — Lowerz nebst 457 Menschen zum Opfer fielen, erschien gleich nachher eine besondere Schrift [569], und der Züricher „Schanzenherr“ (Stadtingenieur) Feer veröffentlichte [570] eine genaue Vermessung des verschütteten Gebietes. Diese Gegend ist an und für sich prädisponiert für Abgleitungen; noch jetzt lösen sich vom Rossberg, an dessen Scheitelfläche man heute noch das Abrissgebiet von 1806 deutlich genug wahrnimmt, kleinere Teile ab, und schon 1824 erfolgte ein abermaliger Sturz, glücklicherweise jedoch ohne schlimme Folgen [571]. — Den Bergsturz von Elm (11. September 1881) haben Buss und Heim zum Objekte einer für das Studium dieser Klasse von Phänomenen überhaupt wichtigen Monographie [572] gemacht. Die verwüstete Fläche mass 90 ha,

das Trümmermaterial wurde auf 10 Mill. cbm geschätzt. 79 Gebäude, 112 Menschenleben bildeten die traurige Bilanz des Zerstörungsaktes. Wir sehen in Fig. 207, nach Heim (s. o.) einen Querdurchschnitt durch das Absturzterrain. Die steil gelagerten Schichten würden kaum gwichen sein, wenn nicht der eine Schichtkopf durch Abarbeitung eines prismatischen Stückes a b c geschwächt worden wäre; daran trug grossenteils die Steinbrucharbeit der Bewohner die Schuld, welche hauptsächlich auf die Herstellung von Schiefertafeln (S. 671) angewiesen sind. Ihr stetes Eingreifen, verbunden mit der natürlichen Erosion, beraubte das Abrissgebiet seiner Stütze, und so musste die Katastrophe erfolgen; die Spritzzone reichte gegenüber bis zum Punkte d hinauf.

Von den eigentlichen Bergstürzen und Bergschlipfen unterscheiden wir bewusst die einzig und allein von örtlicher Verwitterung herbeigeführte Felsablösung, welche gänzlich mit dem Steinschlage des Hochgebirges (S. 750) auf eine Stufe zu stellen ist. Die teilweise an der lotrechten Wand des Mönchsberges geradezu klebende Stadt Salzburg (Vorstadt Gstätten) hatte, wie Zillners Geschichtswerk [573] ausweist, oft und schwer unter den durch diese eigentümliche Lage bedingten Steinfällen zu leiden.

Dagegen müssen langsame Rutschprozesse, die sich mit solch majestätischer Ruhe vollziehen, dass kein unmittelbar bedrohlicher Zustand entsteht, dass vielmehr Schutzmassregeln rechtzeitig getroffen werden können, unbedingt den Bergschlipfen zugerechnet werden. Dies trifft gewisse Geschehnisse, deren bei der Lehre von den terrestrischen Niveauveränderungen (S. 568) gedacht worden war. Ein besonders beweiskräftiges Beispiel ist das „rutschende Dorf“ Tschappina (Schoppina in Seb. Münsters „Cosmographey“), welches auf einem von den Bauern als „wassersüchtig“ bezeichneten Boden steht [574]. Dem äusserst bedächtigen Vorrücken gegen einen mit Wasser gefüllten Trichter im Boden ist später Halt geboten worden, doch war immerhin wirkliche Gefahr vorhanden.

Schichtabrutschung kann selbstverständlich in jedem Niveau erfolgen, also auch unterhalb des Wasserspiegels. Wenn hiedurch Oberflächenteile unter Wasser kommen, welche sich vorher ausserhalb desselben befanden, so sprechen wir von einer Uferrutschung. Kleinere Vorfälle solcher Art ereignen sich ungemein häufig, und nur selten wird die Bewegung so intensiv werden, dass erhebliche morphologische — und anderweite — Konsequenzen eintreten.

Der englischen Stadt Sandgate (Kent) begegnete es 1892 nach Zeitungsmitteilungen [575], dass der sie tragende Boden in weiten Rissen aufklaffte, so dass die Bewohner ihre Häuser angstvoll verliessen. Man dachte an Erdbeben und Dynamitsprengungen in der Nähe als Ursachen; doch liegt aller Wahrscheinlichkeit nach ein Analogon zu dem viel schwereren Unglücksfalle vor, welcher am 5. Juli 1887 die schweizerische Stadt Zug traf. A. Heim hat ihn nebst anderen Experten auf sein ursächliches Verhalten geprüft und das Prüfungsprotokoll veröffentlicht [576]. Schon 1435 war ein Teil des Städtchens im anliegenden See verschwunden [577], und der Menschenverlust war damals ein grosser gewesen, aber auch diesmal wurden 11 Einwohner verschlungen. Heim vernichtete schonungslos die in reicher Fülle zur Erklärung des Vorfalles in Umlauf gesetzten Hypothesen — Austrocknung unterirdischer Wasserläufe, aussergewöhnlichen Druck des Grundwassers, unterseeische Quellen, Hohlräume im Boden — und wies überzeugend folgendes nach [578]: Primäres Motiv der Gleichgewichtsstörung war das Vorhandensein einer mächtigen Lage weichen Schlammsandes unter jüngeren, aber festeren Schichten von geringer Dicke, und da kurz zuvor durch Erdauffüllung dieser schwache Untergrund stark belastet worden war, kam jene Sandschicht ins Rutschen. Ziemlich ähnlich haben wir uns immer den Hergang zu denken, wenn ausgedehntere Uferstrecken plötzlich im Wasser versinken.

Ein Erdfall entsteht, wenn durch unterirdische Auswaschung eine horizontale Fläche der Pilotierung (S. 895) beraubt wird, und wenn infolge dessen ein Einsturz erfolgt, der zumeist die Hohlform eines in den Boden eingesenkten Trichters ergibt. Ein solcher Prozess kann

sich langsam, er kann sich aber auch jäh und plötzlich vollziehen, so dass er in diesem Falle von einem Einsturzbeben (I, S. 482) begleitet wird. Aus alter und neuer Zeit fehlt es nicht an Berichten über solche Zusammenbrüche, die dann in ganz ähnlicher Art und Weise menschliche Wohnsitze gefährden können, wie dies unter etwas anderen Umständen die soeben besprochenen Uferrutschungen thun.

Als gegen Ende des XVIII. Jahrhunderts der bekannte Physiker Lichtenberg von einem im Vorharz beobachteten Erdfalle Kunde bekam, verhielt er sich nach eigener Aussage [579] zuerst skeptisch und liess sich erst durch den von seinem Schüler Benzenberg an Ort und Stelle genommenen Augenschein eines anderen belehren, indem er dann allerdings die Erscheinung zutreffend mit dem Erdsturze von Plurs (s. o.) in Parallele stellte. Interessante Wahrnehmungen über Bodenrutschungen und Erdfälle konnte Sandberger [580] in der Rhön und sonst in Unterfranken machen. Wasserhaltiger Zellendolomit bedingte eine solche Trichterbildung bei Hammelburg im nassen Winter 1877, und im Frühling 1881 entstand geradeso bei Daschendorf an der Itz ein Trümmerhügel, dem auffallende Aehnlichkeit mit der Endmoräne (S. 736) eines Gletschers nicht abgesprochen werden konnte. Anderwärts rutschten [581] die mit Flüssigkeit vollgesogenen Muschelkalkbänke längs der sie unterteufenden Schieferletten abwärts. Von Erdsenkungen mit kraterähnlichem Loche war mehrfach [582] aus England und Vorderindien berichtet worden.

Beispiele versinkender Städte gibt uns namentlich Nordböhmen an die Hand. Berdrow [583] besprach das Missgeschick von Brüx und erinnerte daran, dass die persische Stadt Kutschan geradezu im Boden verschwunden sei. Im ersteren Falle ist dem Bergbau eine gewisse Schuld beizumessen, aber auch gewöhnliche Quellenexkavation (S. 797) ist kein zu unterschätzender Faktor. F. Steiners sachverständiges Urteil [584] geht bezüglich der Brüxer Bodensenkungen dahin, dass zwischen den Thonstraten, auf denen die Stadt erbaut ist, Lagen feinen Sandes liegen, der sich bei Wasserzufluss in eine breiige Masse verwandelt und zum Abfliessen in tiefer gelegene Horizonte genötigt wird. Durch Chlorcalcium, mittelst Röhren in die kritischen Schichten eingeführt, hoffte der genannte Ingenieur eine Wiederverfestigung des aufgelösten Sandes zu bewirken, dessen Wegnahme 25 Gebäude zum Einsturz gebracht hatte. — Von den Schicksalen Schneidemühls war bereits (S. 792) die Rede. Anders war die Lage Eislebens, wiewohl äusserlich der Verlauf der Bodenentfestigung kaum verschieden erschien. O. Lang macht [585] für diese die sogenannte Zechsteinasche im Untergrunde verantwortlich, auf deren geringe Tragfähigkeit und grosse Leichtbeweglichkeit schon v. Fritsch [586] seinerseits hingewiesen hatte. In diesem Falle sei der Bergwerksbetrieb von der Verantwortlichkeit freizusprechen. Wenn man jedoch mit Ule [587] den Gesamtkomplex von Erscheinungen in der Nachbarschaft betrachtet, muss man zu einer anderen Auffassung kommen. Rings um die von Eisleben nicht weit entfernten Mansfelder Seen (S. 773) wurden Erdfälle konstatiert, die auch den eigentlichen Seegrund nicht verschonten, so dass deren Wasser in die Mansfelder Grubengänge einströmte. Wären diese nicht gewesen, so würde Eisleben schwerlich die vielen Häusereinstürze erlebt haben, und in der That haben sich die Verhältnisse sehr gebessert, seitdem die künstliche Entwässerung jener Wasserbehälter bedeutende Fortschritte gemacht hat.

Als letzte uns hier beschäftigende Form des Massentransportes kommt nunmehr der Muhrbruch an die Reihe, bezüglich dessen wir uns an die grundlegende Arbeit von Frech [588] halten. Während bei den bisher zur Diskussion gestellten Modalitäten das Wasser wesentlich nur eine passive, die Abtrennung vorbereitende Rolle zu spielen hatte, wird es jetzt zum aktiv schaffenden Elemente.

Auf die Analogie zwischen Bergstürzen und Muhren richtet sich unser Augenmerk von selbst; so war die furchtbare Ueberflutung des St. Jakobsthales am Ararat durch einen Brei von Felsstücken, Eismassen und Wasser, welche Neumayr [589] ausführlich skizziert, ebensogut eine Muhre, wie ein eigentlicher Bergsturz. Die Vermuhrung, die Ueberschüttung eines Bergabhanges nebst an-

grenzender Thalsohle tritt dann ein, wenn ein Wildbach (S. 835) viel Schuttmaterial mit sich führt, wenn also Sammelgebiet und Umgebung der Sturzbahn aus leicht zersetzbaren Stoffen bestehen, wenn der Böschungswinkel ein steiler ist, und wenn Regengüsse oder gar Wolkenbrüche einen reichen Wasservorrat aufgestaut haben. Manche alpine Region ist wegen ihrer Tendenz zur Vermuhrung berüchtigt, vorab im ladinischen Enneberg, wo die Rutschungen (s. o.) an der Tagesordnung sind und sehr leicht in Muhrbewegungen übergehen [590]. Die vom Wasser thalab geschleppte Schuttwalze setzt sich zuletzt als ein der Form nach der gewöhnlichen Geröllhalde (S. 882) vergleichbarer Schuttkegel ab, und zwar entspricht dieses Akkumulationsgebiet den steileren Gehängestellen. Bei neu entstandenen Muhren, die als Hochmuhren oberhalb, als Niedermuhren unterhalb der Baumgrenze ihren Anfang nehmen, ist die Gefällskurve noch unbestimmt, nicht scharf ausgebildet; thätige Muhren besitzen ein gleichmässigeres Gefälle, und bei erloschenen Muhren sind die Verhältnisse zur Stabilität gelangt [591]. Im Oetzthale sind Vermuhrungen besonders häufig; auch die Verheerungen, denen Windisch-Matrey im Iselthale und Kolmann im Eisackthale ausgesetzt waren, haben viel Aufsehen erregt. Ueber die Vorbeugungsmassregeln ward schon oben gehandelt (S. 883); von der Waldpflege darf man sich, wie auch Frech [592] betont, nicht zu viel erhoffen, sondern weit wichtiger ist die Zurückhaltung des Schuttes an der ursprünglichen Lagerstätte und an hiezu durch die Kunst vorbereiteten Stellen des Thales. Doch ist dauernde Abhilfe schwer zu erreichen, denn „die Plastik einer Muhre ist immerwährenden Veränderungen unterworfen“ [593], wie der bekannte Hydrotechniker Stefanović v. Vilovo sich ausdrückt.

Eine approximative Berechnung der unter solchen Umständen transportierten Massen hat man von G. A. Koch [594]. Allerdings war damals die Veranlassung eine besonders gewichtige; Gletscherbruch (S. 571) und Seedurchbruch wirkten zusammen. Der im westtirolischen Kaunserthale abgelagerte Schwemmkegel mag 50000 cbm Schuttmasse umfasst haben.

§. 15. **Höhlen.** Jene subterranen Hohlräume, denen wir im morphographischen Systeme einen Platz anweisen mussten (S. 703), und die wir kurzweg als Höhlen bezeichnen, wollen auch in Bezug auf ihre Entstehung untersucht sein. Wir möchten nicht a priori leugnen, dass nicht auch tektonisch, durch blosse innere Dislokationen solche Höhlen im Gebirge entstehen können, zumal da es ja sehr wahrscheinlich geworden, dass mit der Gebirgsfaltung ein Akt der Aushöhlung in grösserer Tiefe korrespondierte (S. 860). Allein die gewaltige Mehrzahl aller bekannten Höhlen trägt doch deutlich genug das Gepräge einer durch Erosion und Denudation bewirkten Bildung an sich.

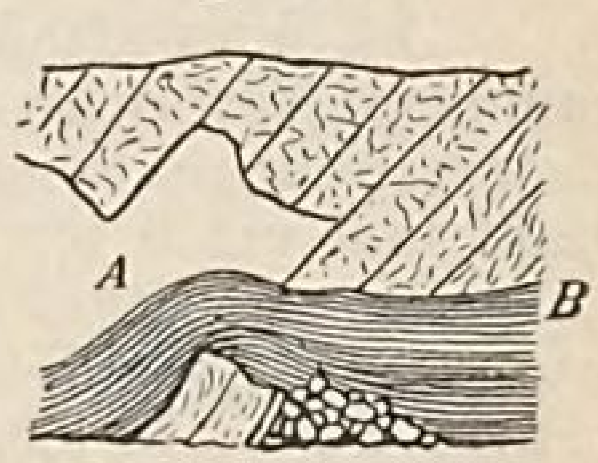
Die Höhlen haben für die Abenteuerlust des Menschen wohl zu allen Zeiten einen Anziehungspunkt geboten. Vielleicht den ersten, wesentlich durch wissenschaftliches Interesse geleiteten Versuch, eine Höhle zu untersuchen, verzeichnet Jacobs [595]; um 1545 beschrieb ein gewisser Reiffenstein die später viel besprochene Baumannshöhle im Harz. Soweit spätere Gelehrte sich mit den Höhlen beschäftigten, wie dies namentlich in der zweiten Hälfte des XVIII. Jahrhunderts Esper [596] und Rosenmüller [597] thaten, stand die paläontologische Seite im Vordergrunde, obwohl zumal letzterer auch den Bedingungen, unter welchen die Diluvialfluten solche tief eindringende Hohlräume ausgewaschen haben konnten, seine Teilnahme nicht versagte. In unseren Tagen endlich hat sich als ein selbständiger Zweig der physischen Erdkunde die Speläologie (σπήλειον, Kluft, Höhle) oder Höhlenkunde herausgebildet. Einen guten Grund zu selbständiger Darstellung derselben legte Fruhwirth [598], und bald folgten zwei selbständige Werke hochverdienter Höhlenforscher, des Franzosen Martel [599] und des Oesterreichers Kraus [600]. Rein deskriptiv leistet die voluminöse Zusammenstellung Ch. W. Ritters [601] noch fortwährend nützliche Dienste, und auch die älteren Spezialschriften von Goldfus [602] und Bory de St. Vincent [603] sind nicht ohne Wert für die gegenwärtige Generation. Die Höhlenfunde behandelt wohl am eingehendsten Boyd Dawkins [604], und auch bei

Szombathy [605] wird ihrer gedacht. Die geologischen Fragen werden auch von Virlet [606] und O. Fraas [607] gebührend, soweit es sich damals machen liess, erörtert. Zur Zeit besteht eine Hauptaufgabe darin, das Höhlenphänomen regional zu behandeln und gemeinsame Züge herauszufinden. Von den rheinländischen Höhlen haben wir durch Fuhlrott [608], von den steiermärkischen durch Graf Wurmbrand [609] und Buchgruber [610], von den bayerischen durch Kraus [611], von denjenigen des Harzgebirges durch Schwalbe [612], von kleinasiatischen durch Tietze [613] Kunde erhalten; das umfangreiche französische Höhlenrevier bleibt die unbestrittene Domäne Martels. Bemerkenswerte Abbildungen balearischer Höhlen (Cova de S'Aygo, Cova de Parella) enthält das Werk [614] des Erzherzogs Ludwig Salvator (I, S. 431). Martel, der unermüdliche Arbeiter, hat der Höhlenkunde auch in der inhaltlich und formell trefflich geführten „Spelunca" ein eigenes Organ gegeben. Die Aufgaben der Speläologie legt in grossem Stile derselbe dar [615]. Hydrologie, Mineralogie und Geologie, Karto- und Topographie, Agrikultur (wegen der Verwendung verborgener Wasseradern im Dienste der Landwirtschaft), Physik der Erde (Pendel- und elektrische Versuche in grösserer Tiefe), Meteorologie, Versteinerungskunde und Prähistorie, Zoologie und Pflanzenkunde haben Förderung zu erwarten. Hatte doch schon A. v. Humboldt eine unterirdische Botanik geschaffen [616], die namentlich pflanzenphysiologische Bedeutung gewann.

Folgen wir den älteren Einteilungen, die auch bei Fruhwirth noch nachwirken, so laufen wir Gefahr, den genetischen Faden zu verlieren, wie denn zwischen Spalt- und Wasserhöhlen [617] kaum ein wirklicher Unterschied gemacht werden kann. Sicherer ist Kraus' Höhlenklassifikation fundiert. Von den künstlichen Höhlen absehend, stellen wir den ursprünglichen die epigenetischen (nachher entstandenen) Höhlen gegenüber; zu ersteren, die wenig ins Gewicht fallen, gehören, neben den allfallsigen tektonischen Bildungen (s. o.), Drusenräume im krystallinischen und Blasenräume im vulkanischen Gesteine, sowie horizontale Riffhöhlen in klastischem Fels. Hierüber spricht sich u. a. Daubrée [618] aus. Bruch- und Spalthöhlen sind gleichfalls selten; Ueberdeckungshöhlen [619] sind schon häufiger; Erosionshöhlen [620] endlich bilden die selten ausser Kraft gesetzte Regel. Die Ueberdeckungshöhlen — offene Hohlräume, die von oben her geschlossen wurden — können durch Bergstürze (§. 14) und durch Quelltuffbildung entstanden sein; zur ersteren Art gehört eine Höhle im Uttenwaldergrunde der Sächsischen Schweiz, wogegen Quelltuffhöhlen von Quenstedt [621] in der Rauhen Alb aufgezeigt wurden. Ob echte Höhlen durch chemische Erosion (Verwitterung) oder Metamorphismus [622] zu stande kommen können, wollen wir dahin gestellt sein lassen; Kraus erachtet [623] wenigstens solche Fälle mit Recht für sehr selten. Dem fliessenden Wasser dagegen ist, da ja doch im Inneren der Schichten härtere und nachgiebigere Partien miteinander abwechseln, ein sehr beträchtlicher Einfluss zuzuschreiben. Natürliche Zerklüftung (S. 872) erleichtert den Auswaschungsprozess.

Sehen wir von den Trockenhöhlen [624] ab, die etwa den Trockenthälern (S. 608) zu vergleichen wären, und für die man sehr mannigfaltige Bezeichnungen hat (Balme in der Schweiz, Cova oder Cueva in Spanien, Petschora in Russland, Pečina oder Jama im südslavischen Sprachgebiete), so ist es der die Höhle durchziehende Wasserlauf, welcher deren Eigenart vorwiegend bestimmt. Gefällsstörungen und Engstellen entsprechen sich zumeist gegenseitig; die Höhlenkundigen nennen eine solche Veränderung des natürlichen Höhlenquerschnittes einen Siphon (nicht Syphon; σίφων, Heber). Absturz von Decktrümmern kann (Fig. 208) den von B kommenden Höhlenbach in ein niedrigeres Niveau A zwingen. Hiedurch kann selbstredend auch der natürliche Zusammenhang einer Höhle unterbrochen werden, so dass es mühsamer Sucharbeit unter Magnesiumlicht bedarf, die Verbindung distanter Höhlenteile wieder aufzufinden. Vereint mit Putick [625], dem wir eine reizvolle Schilderung [626] der Höhlenwelt des Karstes verdanken, hat z. B. Martel die Höhle unter dem sogenannten Magdalenenschachte als mit der Adelsberger Grotte zusammenhängend erkannt. Die Beseitigung der durch Sturz entstandenen Hindernisse ist nicht bloss dem Forscher erwünscht, sondern Martel empfiehlt sie auch mit Fug, um Hochwasser- und Versumpfungsgefahr erfolgreich zu bekämpfen.

Fig. 208.



Wir versinnlichen in Fig. 209 Martels [627] Nachweis des Zusammenhangs der Grotte von Ottok mit dem als „Tartarus" bekannten Ausläufer der Adelsberger Grotte; durch diese Entdeckung wurde die letztgenannte um etwa 2 km verlängert. Zum Glücke, da die Höhlenbegehung mit den grössten Schwierigkeiten verknüpft ist, vermag die Erosion des eindringenden Meteorwassers, wie Cvijić [628] zeigt, die natürlichen Spalten des Gesteines zu erweitern und so praktikable Zugänge nach unten zu schaffen.

Nischen oder Halbhöhlen können durch Brandung, laterale Erosion, Einsturz vollkommener Höhlen, sowie durch Windwirkung (S. 891) entstehen [629]. Hieher gehören helgoländische und bornholmische Bildungen (S. 598), die aus Irland bekannten [630] Felsenaushöhlungen, die merkwürdige Basalthöhle auf Staffa (I, S. 396) [631] und die Grotta azurra auf Capri (S. 104).

Nachdem so über Höhlenbildung einiges Licht verbreitet ist, wenden wir uns noch der Betrachtung gewisser eigenartiger Formen zu, an denen der Geophysiker Anteil zu nehmen hat. Den Eishöhlen ist ihr Recht bereits (S. 754 ff.) genügend geworden. Dagegen ist den-

Fig. 209.



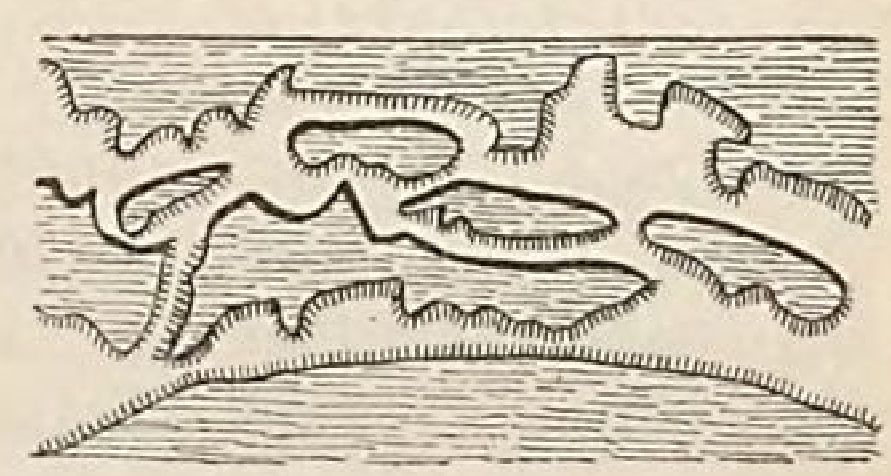
jenigen Höhlen, welche durch ungewöhnliche Gasexhalation ausgezeichnet sind, den warme Luft aushauchenden Höhlen und endlich den Tropfsteinhöhlen noch je ein kurzer Abschnitt zu widmen. Für letztere ist die italienische Bezeichnung Grotte (grotta) üblich geworden.

a) Höhlen mit Gasausströmung. Oft sind solche Fälle nach Kraus [632] nicht zu verzeichnen; doch existieren derartige Höhlen immerhin (Basalthöhle Creux de Souci nach Martel, Büdöshöhle in Siebenbürgen). Wir hegen die Ueberzeugung, dass da stets verborgene Mofetten (I, S. 374) vorliegen; von der bekannten Hundegrotte bei Pyrmont weiss man es gewiss.

b) Heissluftthöhlen. Im allgemeinen ist es in den Höhlen kalt. Penck [633] sammelte Nachrichten über die in den Grotten von St. Kanzian angestellten Thermometermessungen und stellte fest, dass dort die Sommertemperatur ziemlich konstant und um 6 bis 7 Grad niedriger als im Freien ist. Wie in allen von Wasser durchflossenen Höhlen mit zwei Eingängen tritt aber eine starke Jahresschwankung zu Tage. Höhlen mit sehr warmer Luft stellen sonach eine Anomalie dar; sie sind in ihrer Art dasselbe, wie die Thermen (S. 795) und verraten vulkanische Einwirkungen. Eine Höhle, die auch im Januar noch Luft von 14° Wärme ausstösst, entdeckte Krejcí [634] im nördlichen Böhmen; man kennt dergleichen auch in den Euganeen (bei Abano Bagni); am berühmtesten endlich ist die toskanische Höhle von Monsummano, die 1849 zufällig aufgefunden ward. Widmann [635] kennzeichnet sie als tief in einen Berg eingesenkte Tropfsteingrotte, die zwei mit kochend heissem Wasser angefüllte Teiche enthält. So haben sich drei Kammern gebildet, welche der Patient folgeweise besucht. Das „Paradiso" — man hat Dantes Titel seiner Gesänge adoptiert — hat 27,5°, das „Purgatorio" hat 30°, das „Inferno" endlich hat 35° Temperatur.

c) Tropfsteingrotten. Die Bildung von Kalkkonkretionen, die man früher Traufsteine, später Tropfsteine nannte, soll kurz im Anschlusse an eine ältere Behandlung [636] der bezüglichen Fragen geschildert werden. In sehr vielen Grotten, die nicht einmal direkt in Kalkstein ausgehöhlt zu sein brauchen, zu denen vielmehr nur überhaupt kalkhaltiges Wasser einen Zugang zu finden braucht, findet man Stalaktiten (στάλαγμα, Tropfen) und Stalagmiten. Beide Worte bedeuten im Grunde das nämliche, aber man ist übereingekommen, mit ersterem die von der Decke herabhängenden, mit letzterem die vom Boden aufragenden Gebilde zu bezeichnen. Daneben treten auch gelegentlich Tropfsteinsäulen und kompliziertere Verwachsungen, wie die Tropfsteinorgeln und die transparenten Mäntel oder Tapeten auf, wie denn letztere bereits in einer der ältesten Höhlenbeschreibungen, die wir besitzen, in einem Brief Magnis an A. Kircher [637] Erwähnung findet. Seit Leibniz [638] die Baumannshöhle (S. 900) mit ihren „stillicidia petrosa" als ein merkwürdiges Untersuchungsobjekt erkannt hat, ist durch Kaestner [639], Parrot [640], Senft [641] u. a. mancher Beitrag zur Ermittelung der Entstehungs- und Wachstumsbedingungen dieser Gebilde erbracht worden. Vor allem wies Senft nach, dass es stalaktitische Konkretionen aus echtem Kalkspat und solche gibt, welche aus dem der gleichen chemischen Formel unterworfenen, aber krystallographisch verschiedenen Aragonit gebildet sind. Letzterer Krystall, von welchem man besonders schöne Exemplare bei Molina in der namengebenden spanischen Provinz Aragon fand, ist nach Roses [642] Gesetz des Dimorphismus (Zweigestaltigkeit] durch Temperaturverschiedenheit, die sich während des Krystallisationsvorganges einstellte, in seiner Eigenart bedingt. Man kann alle Tropfsteine den Versinterungen (S. 800) zuzählen; fehlt doch auch vielfach nicht der eigentliche Wandsinter als emailartige Ueberkleidung, in welcher sich dann durch nachherige Erosion kleine Tümpel (gours im Französischen) gebildet haben können (vgl. Fig. 210). Die Möglichkeit, dass es auch in anderen Formationen, als im Kalk, zur Tropfsteinbildung kommen kann, wurde von J. Roth [643] und H. Haas [644] hervorgehoben, und Adami wies nach [645], dass in einem Bayreuther Wasserreservoir, welches ganz in wenig kalkhaltigen Sandstein eingebaut ist, binnen Jahresfrist Stalaktiten von 2,5 cm Länge erwachsen waren. Hiedurch wurde der übliche Modus, die Vergrösserung des Tropfsteinsinters zu berechnen, erheblich alteriert. Die Schätzung Boyd Dawkins' [646] erwies sich als eine in vielen Fällen zu niedrige, und man darf es jetzt als Thatsache hinstellen, dass unter abweichenden äusseren Umständen die Geschwindigkeit, mit welcher neue „Jahresringe" sich an den schon vorhandenen Stumpf ansetzen, zwischen sehr weit auseinanderliegenden Grenzen schwankt.

Fig. 210.



Tropfsteingrotten scheint es in allen Erdteilen zu geben. Besonders berühmt sind nach Hovey und Owen in Nordamerika [647] die Mammuthöhle in Kentucky und die Lurrayhöhle in Virginien, auf den britischen Inseln die Grotten des Eilandes Caldy, auf Antiparos (Kykladen) eine Aragonithöhle, ferner die durch gigantische Stalaktiten ausgezeichnete ungarische Grotte von Aggtelék, von welcher nach Schmidl und v. Lóczy bei Neumayr-Uhlig Beschreibung und Abbildung zu finden sind [648]. Sehr sehenswert sind auch die Tropfsteinhöhlen der Fränkischen Schweiz, über welche v. Gümbel [649] und Goetz [650] Näheres mitteilen; auf die Erosionsthätigkeit des rinnenden Wassers, welche Mohr [651] insbesondere auch an diesem Beispiele erläuterte, weisen auch zahlreiche Erdfälle in dieser Gegend hin, in fränkischer Mundart Hüll (Hühl, Höhlung) genannt [652] und für die Onomatologie (Namenkunde) Ostfrankens vielfach massgebend. Auch die oberpfälzischen Höhlen von Krottensee und Velburg gehören hierher [653]. Indessen treten alle europäischen Vorkommnisse an Grossartigkeit zurück gegen die zahllosen Grotten des krainisch-küstenländischen Karstes, unter denen wiederum diejenigen von Corgnale, St. Kanzian und Adelsberg (Postojna) hervorragen. Dank der unermüdlichen Thätigkeit der Triester Höhlenerforscher Hanke, Fr. Müller und Marinić, denen sich gelegentlich auch (s. o.) Martel, Kraus und Putick beigesellten, ist diese verborgene Welt, teilweise durch nicht gefahrlose Bootfahrten und Seilabstiege, weithin aufgeklärt worden. Die Adelsberger Grotte mit ihren Domen und Pracht-

sälen wurde früher schon von T. Gruber [654] und Schmidl [655] genau untersucht. Kraus meldet [656], dass 1891 eine Neuvermessung des Höhlenraumes mit Hilfe des Kompasses, jedoch mit sorgsamer Berücksichtigung der magnetischen Abweichung (I, S. 511) ins Werk gesetzt wurde, welche aber leider zeigte, dass früher begehbare Oertlichkeiten durch Deckeneinsturz unzugänglich geworden sind.

Erwähnt sei noch, dass auch in Eishöhlen (s. o.) Fortsätze des Decken- und Bodenüberzuges auftreten, die ganz an Stalaktiten und Stalagmiten erinnern. Sehr merkwürdige, weil hohle sechsseitige Pyramiden dieser Art wiesen Grossmann und Lomas in einer isländischen Eisgrotte und nicht minder im Kühlraume der Bierbrauereien nach [657]. Hohle Stalaktiten hat auch schon T. Gruber [658] gekannt. Endlich kann es auch, wie H. Credner [659] im Hinblick auf die Bleiregion am oberen Mississippi und auf die Raibler Bergwerke (Kärnten) bemerkt, zum Absatze stalaktitenartiger Schwefelkies-, Bleiglanz- und Zinkblendeabsätze kommen. Lavastalaktiten (I, S. 390) ermittelte Goldsmith [660] in den Drusenräumen erkalteter Ergussmassen auf Hawaii. — Eine von Crammer [661] angegebene Methode, den Prozess der Eisbildung aus Niederschlagswasser und Wasserdampf besser beobachten zu können, kann wohl auch dazu dienen, Abnormitäten in der Entstehung von kegelförmigen Sedimenten aller Art auf die Spur zu kommen.

§. 16. **Thalbildung und Verlegung der Wasserscheiden.** Zu den allerwichtigsten Aufgaben der Geomorphologie gehört nach allseitiger Uebereinstimmung die Erforschung der Ursachen, welche bei der Bildung der Thäler (S. 701 ff.) die entscheidende Rolle gespielt haben. Von der Morphographie entlehnen wir den Gegensatz der Längs- und Querthäler. Die Entstehung der ersteren, welche von vornherein durch den Gebirgsbau vorgezeichnet sind, bereitet geringe Schwierigkeiten, aber um so mehr Stoff zu lebhafter Erörterung hat seit dem Kindesalter der wissenschaftlichen Geologie die Bildung der Querthäler gegeben, die sich auch dem blossen Augenscheine als Gebilde eines mehr oder weniger gewaltsamen Prozesses, d. h. als Durchbruchthäler darstellten.

Mit v. Richthofen [662], dessen umsichtige Charakteristik aller morphogenetischen Vorgänge, wie auch v. Zittel [663] betont, eine neue Epoche in der Oberflächenkunde einleitete, trennen wir überhaupt die im Relief ursprünglich begründeten oder nachher tektonisch entstandenen selbständigen Thäler von den Skulpturthälern, welche durch erosive Agentien aus dem schon vorhandenen Relief herausgearbeitet wurden. Vielleicht thut man, wie auch Penck [664] andeutet, von vornherein noch besser, die in der ersteren Definition enthaltene Zweiteilung sofort auch durch die Bezeichnung anzuerkennen und aufgebaute — d. h. durch Faltenwurf der Erdrinde u. s. w. gebildete — Thäler von ausgearbeiteten Thälern zu unterscheiden, beide Kategorien aber als tektonische Thäler den Erosionsthälern gegenüberzustellen. Supan, der sich den Boden für seine Auffassung durch alpine Studien [665] bereitet hat, stellt nachstehendes Schema auf [666]:

I. Ursprüngliche Thäler:	II. Erosionsthäler:
a) Muldenthäler.	a) Orographische Thäler.
b) Senkungsthäler.	b) Tektonische Thäler.
c) Interkolline Thäler.	c) Epigenetische Thäler.

Die Thäler I a sind in den natürlichen Mulden (S. 849) der Schichtfalten gelegen, meist aber durch Denudation gründlich umgeformt; die Thäler I b sind (Oberrheinthal, S. 848) auf Verwerfungsprozesse zurückzuführen, und „interkolline Thäler liegen zwischen zwei selbständigen Gebirgen“ (Wetterau zwischen Taunus und vulkanischem Vogelsgebirge). Da wir, wie unten ausgeführt wird, fast jedes Thal auf tektonische Präformation zurückführen, lehnen wir den Gegensatz zwischen II a und II b ab, geben aber die Berechtigung der epigenetischen Thalform, die eben mit jener der Durchbruchs- oder Diagonalthäler zusammenfällt, und die auch v. Richthofen [667] stipulierte, als völlig erwiesen zu. Was die inter-

kollinen Thäler anlangt, so sind dieselben wohl grossenteils mit Klasse 1 b identisch und ausgedehnte Senkungsfelder, wie wenigstens für die Wetterau Kinkelins Arbeiten [668] wahrscheinlich machen. Loewl (s. o.) trennt tektonische und pseudotektonische Thäler.

Die Frage, ob es eigentliche Spaltenthäler geben könne, darf noch nicht als entschieden gelten; wir halten selbst dafür, dass dieselben selten, aber doch nachweisbar sind. An und für sich wird man es ja für ganz natürlich halten müssen, dass jene Spaltensysteme, welche uns Daubrée (S. 872) kennen lehrte, die Thalbildung vorbereiten, aber freilich wird Austiefung und Verbreiterung, überhaupt die morphologische Ausgestaltung, auch da von den erosiven Faktoren geleistet werden. In die Kategorie der Thalspalten würde der von den Landeseinwohnern bezeichnend Riesenhieb („Jutulhuget") genannte tiefe Gebirgsriss Norwegens gehören, ursprünglich gewiss, wie Hartung [669] und Reusch [670] annehmen, eine Diaklase, die allerdings später erweitert worden ist, heute aber noch als Trockenthal (S. 608) dasteht. Auch die Trogthäler, welche — hier nach Güssfeldt [671] Cajons genannt — in den Anden und als Analoga der Fjorde (Abteil. VII, Kap. II, §. 4) in Grönland vorkommen, sind nach v. Drygalski nicht ohne weiteres auf Erosion zurückzuführen. Indem er der Meinung Ausdruck gibt, dass man, weil eine ältere Periode gar zu einseitig mit Spaltenbildung operiert habe, gegenwärtig in das entgegengesetzte Extrem zu verfallen geneigt sei, sagt er anlässlich der Charakteristik eines bestimmten Falles [672]: „Unser Fjordthal ist kein Erosionsthal . . ." Die Reaktion gegen die Spaltentheorie war ja in hohem Grade berechtigt, denn die Erhebungslehre v. Buchs (S. 857) erwies sich, wie Penck [673] darlegt, als ganz auf die vermutete Existenz von Spalten begründet, und auch die mathematische Begründung der Lehre durch Hopkins [674] schien dieser feste Stützen zu verleihen. A. Boué vertrat dieselbe stets in weitem Umfange, bezüglich der von ihm so bezeichneten kanalartigen Thäler (s. o.) wohl mit einigem Rechte [675], und Stur [676] erachtete eine paraklastische (S. 872) Entstehung des Donauthales für wahrscheinlich; hierin bekämpfte ihn Tietze [677], der sonst ein Vorkommen von Spaltenthälern in einzelnen Fällen zulassen möchte [678]. Dieser Ansicht schliesst sich v. Zittel an jener Stelle seines grosses Werkes an [679], wo er die allmähliche Entwickelung der erosiven Thalbildungstheorien schildert. Diesen wenden auch wir uns jetzt zu, indem wir an Pencks [680] und Tietzes [681] einschlägige Schriften anknüpfen.

Nachdem die diluvialistische Doktrin von der Auswaschung der Thäler durch Meeresfluten im Sinne von Buckland [682] überwunden war, sprach sich mehr und mehr die allgemeine Stimme dahin aus: Die Ausfurchung der Thäler ist in erster Linie als ein Werk des fliessenden Wassers anzusehen. Nur in England blieb die Flutenhypothese noch längere Zeit in Kraft [683]; in Deutschland dagegen hatten schon frühzeitig J. L. Heim [684] und Rimrod [685] die neuere Anschauung systematisch durchzuführen gesucht, und v. Hoff stellte sich [686], wie bei diesem prinzipiellen Gegner aller kataklysmatischen Ansichten vorauszusehen, auf den gleichen Standpunkt. Poulett Scrope [687], Murchison [688], Bischof [689], besonders aber Dana [690] und B. Jukes [691], lieferten neue und wertvolle Beiträge, und gleich nachher zu besprechende amerikanische Erfahrungen über gewisse Thalformen bewiesen, dass man der Sägewirkung der Flüsse mächtige Wirkungen zutrauen dürfe und müsse.

Indessen blieb eine grundsätzliche Schwierigkeit vorerst noch ungehoben. Wie liess sich denken, dass ein Strom, der eine Gebirgsmauer anscheinend ganz leicht umgehen zu können schien, sich sozusagen darauf kaprizierte, gerade dieses Gebirge zu durchschneiden? Liess sich annehmen, der Fluss sei durch das Hinderniss zum See angestaut worden und habe jenes durch seinen Seitendruck an einer schwachen Stelle durchbrochen, etwa so, wie ein Gletscherstausee sich (S. 752) seinen Austritt erzwingt? Hier lag ein schweres Dilemma vor, aus welchem erst die langsam angebahnte Erkenntnis einer Thatsache retten konnte, die wir folgendermassen in Worte fassen können: Der an geologischem Alter dem durchbrochenen Gebirge vor-

hergehende Fluss strömte anfänglich durch ein ebenes Gelände; als aber dieses gefaltet oder sonst gehoben wurde, schnitt sich das rinnende Wasser stetig ganz ebenso in das vor ihm aufsteigende Gelände ein, wie die Zähne einer Säge sich in den vertikal bewegten Baumstamm einbohren.

Penck glaubt [692] Anklänge an diese Anschauung schon frühzeitig, in den fünfziger Jahren, bei Römer [693] und v. Gümbel [694], aufzeigen zu können. Gleichwohl verhielt sich Rütimeyer, dessen Schrift über Thalbildung [695] der Erosionstheorie tüchtig vorwärts half, noch zögernd gegenüber der Möglichkeit, dass die Prozesse des Einschneidens und Aufsteigens gleichen Schritt miteinander halten sollten. Auch Peschel huldigte [696] noch der Meinung, dass der böhmische Kessel mit einem See erfüllt gewesen sei, der beim Ablaufen sich das heutige Elbethal geschaffen habe. Und doch war, worauf namentlich von Tietze [697] unsere Aufmerksamkeit gelenkt wird, von dem Himálaya-Geologen Medlicott [698] schon früher der oben postulierte Satz klar ausgesprochen worden. In den klassischen Beispielen jenes Riesen-Gebirges fand eben dieser Satz noch einen eklatanteren Beweis, als in anderen Gebirgsländern, aber gleichwohl verfielen auch die Amerikaner selbständig auf diese Interpretation des Durchbruchaktes, und zwar sind Hayden [699], Gilbert [700] und vor allem Powell [701] als Begründer hervorzuheben, deren Ansichten in Deutschland, wo übrigens Supan (s. o.) und Tietze (s. o.) auch ihrerseits dieser Neuerung vorgearbeitet hatten, wesentlich durch Ratzel [702] und Loewl [703] bekannt gemacht wurden. Letzterer wollte allerdings die Durchsägung des sich hebenden Gebirges kaum zugestehen, allein v. Richthofen [704] riet von einer entschiedenen Verneinung solcher Möglichkeit ab, weil erst „weitere Untersuchungen über die Erosionskraft" vollkommene Klärung ergeben könnten, und wenn auch Loewl [705] daran festhält, dass Erosion und Faltung nicht gleichen Schritt zu halten im stande seien, appelliert er dagegen an die rückschreitende Erosion (S. 889), der er die Fähigkeit beimisst, aus dem Querthale heraus allmählich die Längsthäler anschneiden zu können. Schwer sind ihm zufolge nur die konsekutiven Klusen, Einsattelungen, des Schweizer Jura zu deuten. Foerstle [706] erblickt in ihnen den Lauf ursprünglicher Flüsse markiert, welche schon vor Beginn des Faltungsprocesses da gewesen seien und folglich auch die Longitudinalthäler an Alter überträfen. Wäre nicht der Massstab ein zu grosser, so könnte man auch an eine Reihe von Evorsionsakten (S. 889) denken, so wie dies von Ehrenburg [707] auf der Insel Melos beobachtet worden ist. Auch die von Horváth [708] beschriebenen, reihenförmig angeordneten Vertiefungen auf der Ostseite der Kleinen Karpathen können als Analogon angeführt werden.

Hier möge die theoretische Auseinandersetzung abbrechen, indem für tieferes Studium neben den erwähnten Ratgebern auch auf Hilbers [709] die zahlreichen hypothetischen Aeusserungen über Querthalbildung enthaltende Arbeit verwiesen wird. Hingegen empfiehlt es sich, an einzelnen kennzeichnenden Beispielen das Wesen dieses Aktes, so wie wir ihn auf Grund der neuesten Forschungen darstellen zu dürfen glaubten, zu klären. Als typisch ist der Salzachdurchbruch im Pongau zu betrachten, wie ihn uns Waehner [710] und Supan [711] veranschaulichen. Zwischen ihrer Quelle und der Knickungsstelle fliesst die Salzach in einem Longitudinalthale, das von zwei Faltenzügen begrenzt wird, nördlich von den Kalkalpen, südlich vom Urgebirge; der Gegensatz im Aussehen beider bedingt zum grossen Teile die landschaftliche Schönheit des Zeller-Sees. Bei Taxenbach bestand eine noch die Eiszeit überdauernde Wasserscheide, welche bewirkte, dass die prähistorische Salzach sich in die Saalach der Jetztzeit verlängerte. Später scheint erstere der Enns tributpflichtig gewesen zu sein, bis dann, mutmasslich in der spätesten Tertiärzeit, der wasserreiche Fluss das dereinst zusammenhängende Tännen- und Hagengebirge in zwei Teile zerlegte und durch den Pass Lueg in die Ebene hinaustrat. — Sehr beweiskräftige, wenn auch immer noch die Kritik anregende Belege für die Durchbrechung vorgelegter Querriegel durch Flüsse hat Futterer [712] ebenfalls aus der Alpengeologie erbracht. — Aus aussereuropäischen Erdteilen ist wohl kein drastischerer Fall als der von Medlicott (s. o.) untersuchte zu nennen, dass Indus, Ganges und Brahmaputra, alle drei nördlich vom Himálaya entspringend, ihren Weg in Transversalthälern nach der vorderindischen Ebene gefunden haben.

Es versteht sich von selbst, dass Formation und Gesteinsart, wovon bislang nicht ausdrücklich gesprochen wurde, zwar nicht die entscheidende Rolle

zu spielen haben, immerhin aber für Richtung, Breite und sonstigen Charakter des Thales nicht ohne Einfluss sind. So sind nach Küster [713] Thäler im Buntsandstein von solchen in Urfels und Muschelkalk ganz verschieden (s. S. 710); lange, einförmige, ungegliederte Thalwände liegen vor. Wenn die beiden gegenüberliegenden Hänge, die ein Thal einschliessen, verschieden stark geböscht sind, so ist zunächst die nach beiden Seiten hin ungleich wirkende laterale Erosion (S. 890) als Ursache herbeizuziehen; man hat es mit asymmetrischen Thälern zu thun, über deren Genese die sorgfältige Darstellung Pencks [714] mit der teilweise andere Wege einschlagenden von Hilber [715] zu vergleichen ist. Wenn ferner zwei Wasserläufe einen angenähert parallelen Weg nehmen, während der eine energischer als der andere das Gestein angreift, so schafft ersterer sich eine tiefere Erosionsbasis, erzeugt steilere Böschungen und trägt in ein vielleicht anfänglich ganz regelrecht symmetrisch gebautes Faltengebirge ein Element der Ungleichförmigkeit hinein.

Von allen Thälern der Erde dokumentieren die Gewalt der Korrasion (S. 889) am augenfälligsten die sogenannten Cañons (Canyons; deutsch Röhren) in Nordamerika. In die gewaltigen Plateaumassen, deren Schichten niemals eine irgend nennenswerte Störung erfahren haben, hat das Flusswasser sich derart tief eingeschnitten, dass von den ältesten bis zu den jüngsten Ablagerungen der Bau der Erdrinde dem Auge, wie im Modelle, frei gelegt wurde. Damit solche, haarscharf abgeschnittene Wände entstehen konnten, durfte der Fels nicht stark durch Verwitterung zermürbt sein, während andererseits die Korrasionsenergie durch unmessbar lange Zeiträume gleichmässig gewirkt haben muss. Solchergestalt können wir die Bedingungen der Cañonbildung in folgender These zusammenfassen: Ein Fluss, der aus stets regenreichem Ursprungsgebiete kommt und folglich sehr wasserreich ist, durchströmt ein von tektonischen Umformungen verschont gebliebenes Land, dessen Klima ein überaus trockenes ist.

Zu Anfang der sechziger Jahre entdeckte erst eine geologische Untersuchungskommission unter Ives' Leitung [716] den klassischen Cañon des Colorado, an dem sodann Dutton [717] die Gesetze der Korrasion in grossem Stile erläuterte; „ein labyrinthisches und grossartiges Erosionssystem hat sich,“ mit v. Richthofen [718] zu reden, „in die Plateauprovinz eingesenkt,“ welches beim Marble Cañon bis zu einer Tiefe von 3230 m, beim Gran Cañon bis zu einer Tiefe von 3160 m hinabsteigt. Von einigen anderen Erosionsthälern gleichen Zuschnittes gab R. Schlagintweit [719] dem Publikum Nachricht. Seitdem sind die Cañonbezirke zu einer Wallfahrtstätte der Geologen und Geographen geworden, und durch zahlreiche Beschreibungen und Abbildungen sind diese gigantischen Schluchten jetzt als recht bekannt zu betrachten. Ein auszeichnendes Merkmal ist, dass die beiden Wände sich in allen Einzelheiten genau entsprechen, so dass durch eine geringe Horizontalverschiebung genau derselbe Zustand hergestellt werden könnte, wie er bestand, ehe der Fluss seine Bohrarbeit begann; und zwar gilt dies nicht allein für die Hauptschlucht, sondern auch für die vielfach von ihr ausgehenden Seitencañons [720]. Da die Plateauflächen zumeist ganz eben sind, so bemerkt der Wanderer nichts von dem Vorhandensein der ungeheuren Schlucht, als bis er unmittelbar vor ihr steht.

In gleicher Grossartigkeit entfaltet sich dieses Phänomen der Thalbildung an keiner anderen Stelle der Erde, weil eben die klimatischen Verhältnisse nicht leicht anderswo ganz ebenso zusammenwirken. Gewiss tritt zum öfteren der V-förmige Querschnitt hervor, und tiefe Erosionsthäler haben den Schichtenbau bis zu mehr oder minder grosser Tiefe aufgeschnitten. In dem stark zerklüfteten Libanon hatte nach Diener [721] das Wasser, welches freilich hier im subtropischen Lande spärlicher vertreten ist, gute Ansatzpunkte zum Einschneiden, und Bourdon [722] bezeichnet den Cañon des Rhône nach seinem Austritte aus dem Genfer-See als eine Oertlichkeit vom höchsten geologischen Interesse. Zumal der

Himálaya scheint berufen, uns noch mit Thälern von ganz verwandtem Charakter bekannt zu machen. Diener [723] schildert das Sikakank-Profil als an Grossartigkeit mit dem Colorado-Cañon wetteifernd; die Regelmässigkeit der Schichtfolgen sei daselbst kaum irgendwo unterbrochen.

Studien über Thalbildung im konkreten Falle, wie sie, um ausser den schon genannten Arbeiten noch einige wichtigere namhaft zu machen, von Kollbrunner [724], Hartung [725], De la Moussaye [726] angestellt worden sind, haben natürlich in erster Linie nach der Wasserscheide (engl. Water-Shed; die anderen Kultursprachen müssen sich einer Umschreibung bedienen) zu fragen. Dadurch wird auch unsere Aufmerksamkeit auf diesen fundamentalen geographischen Begriff gerichtet, den eine hinter uns liegende Zeit ganz unrichtig auffasste (vgl. S. 699). Mit einer kleinen Umformung der von Philippson [727] für diesen Begriff gegebenen Definition können wir sagen: Wasserscheide ist jede Terrainlinie, in welcher zwei Flächenteile von ungleicher Gefällsrichtung zusammenkommen. Das Wort „schneiden" vermeiden wir aus geometrischen Gründen. Stellen wir uns z. B. einen regelmässigen Faltungssattel vor, so ist dessen Firstlinie gewiss eine Wasserscheide, aber gleichwohl wird man nicht sagen können, dieselbe sei die Schnittlinie zweier Flächen, weil beide Seiten des Sattels in Wahrheit nur eine einzige Fläche darstellen.

Die erwähnte Schrift von Philippson eignet sich am besten dazu, die Beziehungen zwischen Wasserscheide und Thalbildung an einer Fülle von Belegen zu veranschaulichen. Einige charakteristische Beispiele seien derselben also entnommen. Nach v. Richthofen [728] gibt für die Anordnung der Wasserscheiden in Schollenländern (Chin. Provinz Schantung) Philippson [729] folgende Erläuterung (Fig. 211). Jede Gneisscholle ist gefaltet, oben abradiert und gegen die Verwerfungskluft (S. 848) hin geneigt; darüber liegt uralt-paläozoischer Sandstein, der erst nach Faltung und Abrasion sich aus dem Wasser niederschlug. An den Firstlinien tritt der liegende Gneis hervor, und damit ist die Lage der Wasserscheiden klar vorgezeichnet; auf der einen Seite läuft das Wasser die Gneisflanke, auf der anderen läuft es die Sandsteinflanke hinab. In welcher Weise die rück-

Fig. 211.

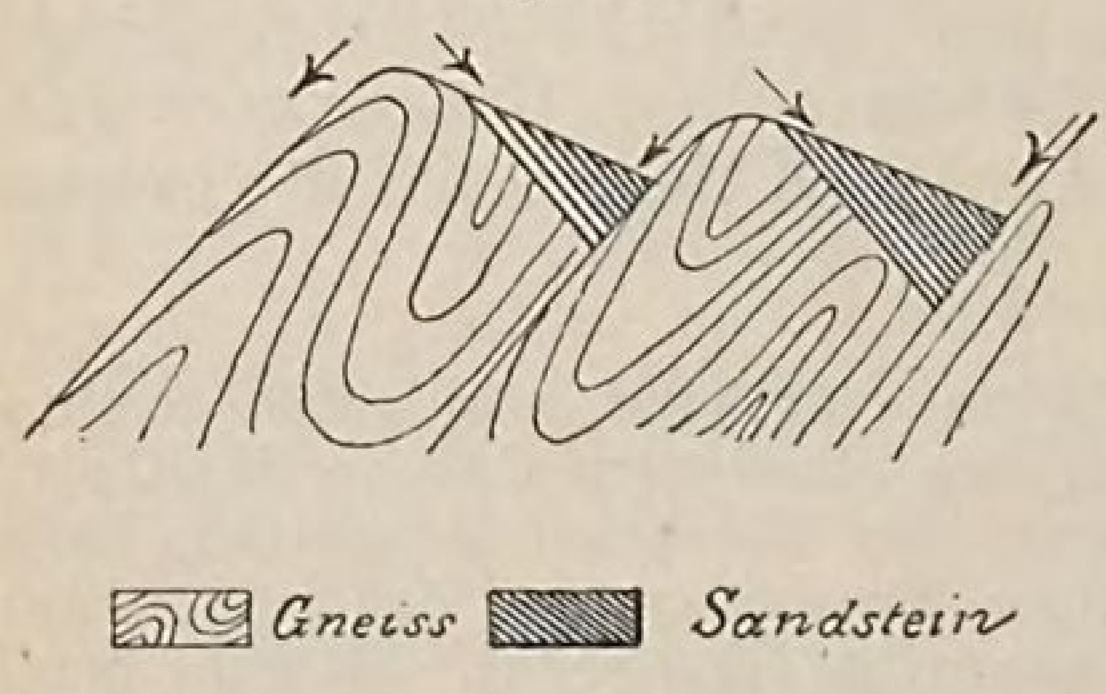
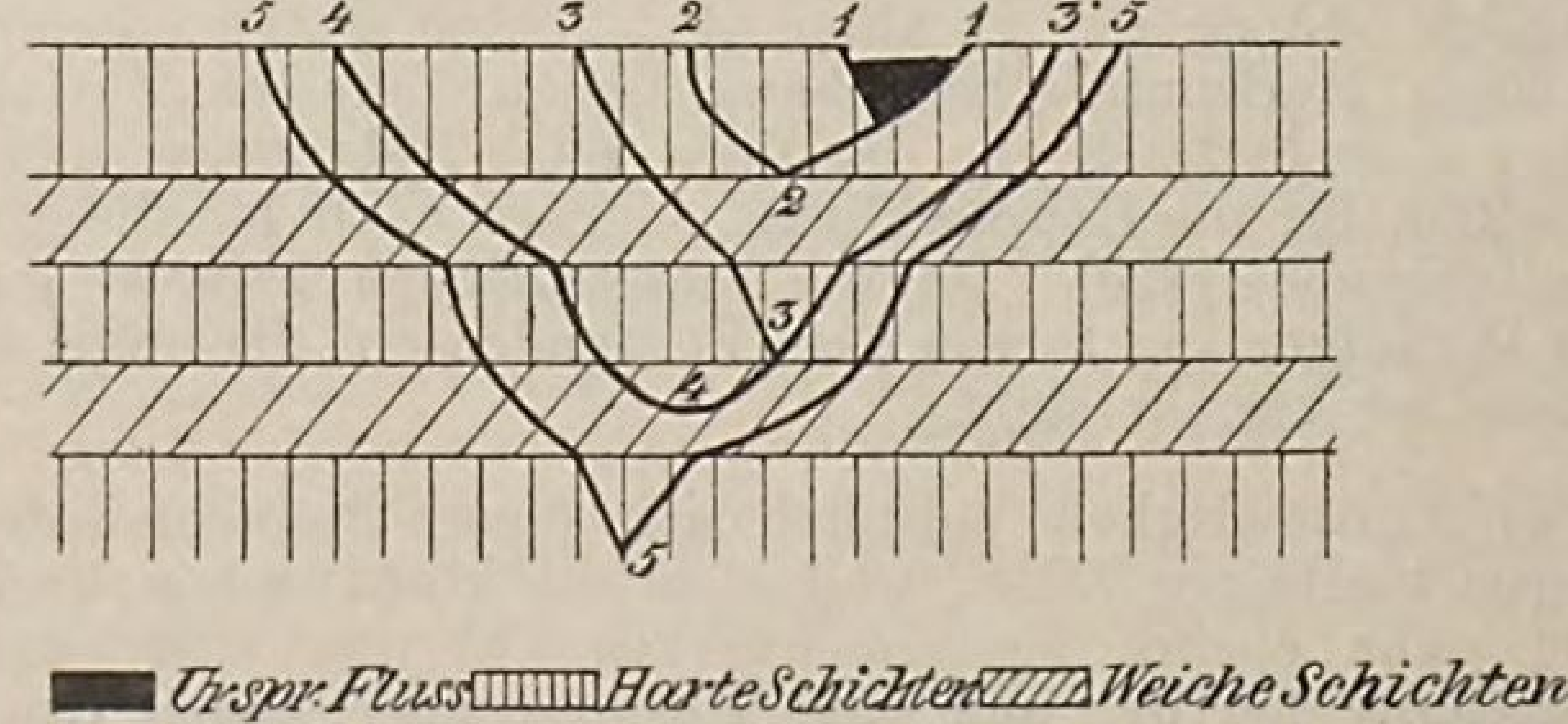


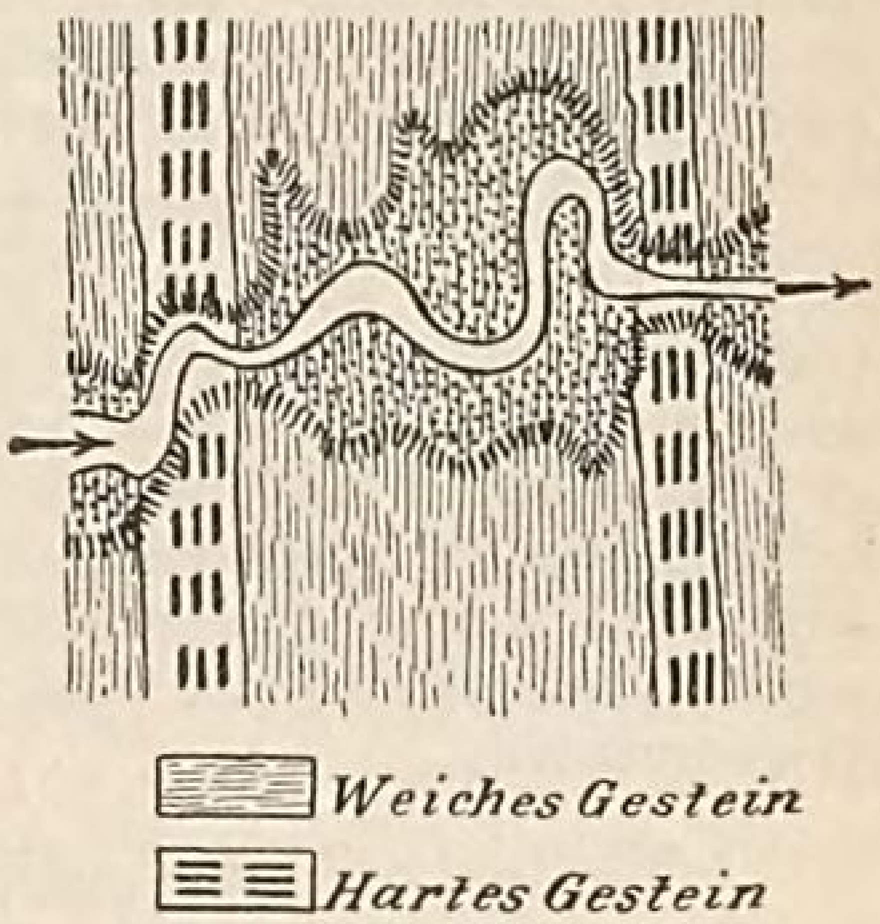
Fig. 212.



läufige Erosion (S. 889) die Wasserscheiden zu verlegen bestrebt ist, kann man aus Fig. 212 ersehen [730]. Der Fluss folgt, mit mässigem Gefälle, der Streichungsrichtung der von ihm überströmten Schichten. Wenn diese in bestimmter Richtung

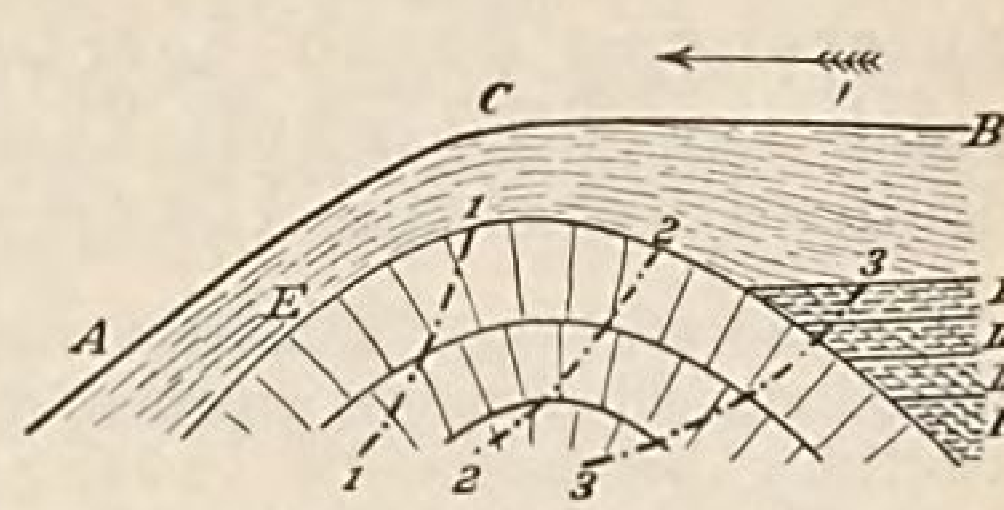
fallen (S. 670), so wird ganz von selbst die Korrasionsthätigkeit nach dieser Seite hin gelenkt, und wenn dann noch, wie unsere Zeichnung angibt, harte und weiche Straten wechsellagern, so wird der Fluss, welcher ursprünglich auf das enge Thal 1 1 angewiesen war, seine Aktion immer entschiedener in der Fallrichtung ausdehnen, so dass 1 2 2, 3 3 3, 3 3 4 4 die Zwischenstadien bezeichnen, nach deren Zurücklegung das heutige Stromthal 5 5 5 erreicht wurde. Es kommt aber, wie v. Richthofen [731] bemerkt, noch hinzu, dass in festem Gesteine der Fluss seine Arbeit ganz in der Korrasion absorbieren lässt, wogegen im weicheren Gesteine zugleich Sedimentablagerung fortschreitet. So kommt es (Fig. 213), dass kurze, gradlinige Strecken grösserer Tiefe mit geschlängelten Strecken abwechseln, innerhalb deren der seichtere Fluss einerseits fortwährend Schwemmstoffe absetzt und andererseits in deren Bereiche sein Bett verändert.

Fig. 213.



Vor allem hat auch die rückläufige Erosion (S. 889) einen gewichtigen Anteil an der Verlegung der Wasserscheiden; ja, sie ist sogar dazu befähigt, solche geradezu zu zerstören. Dass die Korrasion bergaufwärts zu wirken vermag, zeigt Philippson [732] folgendermassen. Der im Längenprofile des Niveaus durch B C A (Fig. 214) dargestellte Fluss geht über einen Felsriegel hinweg und erodiert am stärksten bei E, so dass von hier aus, entgegen der Flussrichtung, das Hindernis mehr und mehr aufgearbeitet wird, während sich die losgetrennten Partikeln im ruhigen Stauwasser hinter dem Riegel ablagern und den Grund erhöhen. So bemerken wir die Anfänge regelrechter Sedimentbildung IV, III, II, I, während zugleich durch die Linien 1 1, 2 2, 3 3 die neue Oberfläche des langsam weggebeizten Felshöckers gekennzeichnet wird. Man sieht, dass so, wenn eine Erhöhung gleichzeitig von verschiedenen Seiten aus bearbeitet wird, deren schliessliche Abtragung nur eine Frage der Zeit sein kann. Wenigstens in recht vielen Fällen werden die Thalwasserscheiden, die im Gebirge und Flachlande oft die uns geläufigeren Kammwasserscheiden ersetzen, der Ueberrest ansehnlicher Bodenschwellen sein, welche der Abtragung durch retrograde Erosion ebenso zum Opfer gefallen sind, wie wir dies bei den Wasserfällen (S. 890) zu konstatieren hatten.

Fig. 214.



Den erwähnten Gegensatz hat zuerst Supan [733] als solchen erkannt und später zum Gegenstande eingehender Erörterung gemacht [734]. Auch Philippson [735] erläutert den Sachverhalt geographisch und morphologisch. In Norwegen erscheint das Thal, welches den See Lesjeskogen (625 m über dem Meere) birgt, als „eines der grossartigsten Doppelthäler der Erde". Unsere Alpen weisen in der Reschenscheideck (1493 m) und im Brenner (1362 m) Thalwasserscheiden von noch verhältnismässig namhafter Meereshöhe auf, durch welche die Flussysteme des Inns und der Etsch getrennt werden; beim Brenner erkennt dies sogar der Volksmund an, indem er das nordwärts ziehende Sillthal und das südlich ziehende Eisackthal in einer Bezeichnung zusammenfasst (unteres und oberes Wippthal). Sehr charakteristich ist als Thalwasserscheide der bekannte Toblacher Riegel (1204 m), von welchem Eisack nach Westen und Drau nach Osten abfliessen, ohne dass die Wände des einförmigen Pusterthales irgend darauf schliessen liessen, dass es ein Doppelthal ist. Wenig wird oft daran gedacht, dass auch in den Ostalpen eine Verbindung zwischen Deutschland-Oesterreich und Italien besteht, bei deren Benützung nur vier ganz niedrige Thalwasserscheiden, deren Krönung durch den Schienenstrang nur ganz unwesentliche Schwierigkeiten bereitete, zu übersteigen sind. Es ist dies die Linie: Salzburg, Bischofshofen, Mandlingpass (zwischen Salzach und Enns), Selzthal, Schoberpass (zwischen Palten- und Lisingbach), Judenburg, Pass von Friesach (zwischen Olsa und Gurk), Villach, Pass von Malborgeth (zwischen Drau und Tagliamento), Pontafel, Udine. Auf die in der That sehr beachtenswerte Thalwasserscheide von

San Giacomo di Fraële, welche sich zwischen Inn und Adda einlagert, wies Philippson hin [736]. — Gewiss gibt es auch ursprüngliche Thalwasserscheiden [737], welche durch die Tektonik der betreffenden Gegend ein für allemal präformiert waren, aber von der Bedeutung der Korrasion kann man, wenn es sich um die Erklärung solcher Vorkommnisse handelt, kaum zu gering denken. So ist die äusserlich unauffälligste und eben darum hohes Interesse gewährende Thalwasserscheide der Fossa Carolina im Fränkischen Jura, welch letztere Karl der Grosse im Jahre 793 anlegen liess, und deren stattliche Reste noch heute sichtbar sind, nur wenige Meter höher, als dies die Spiegel der durch sie getrennten Flüsse sind; nach v. Gümbel [738] liegt das die Maximalhöhe markierende Stationsgebäude von Grönhardt (mit 421 m) 18 m über der Schwäbischen Retzat und 8 m über der Altmühl. „Erst durch die Erosion der Flüsse", so urteilt Philippson [739], „und durch das allgemeine Zurückweichen des Jura-Escarpements entstanden die heutigen Höhenverhältnise."

Zumal während der Eiszeit, in welcher ja die Wasserscheide mit der Eisscheide nicht notwendig zusammenzufallen brauchte, scheinen Verlegungen der ersteren nichts ganz Seltenes gewesen zu sein. Dass speziell die Brenner-Einsattelung noch nicht, wie jetzt, als Wasserteiler zwischen Sill und Eisack (s. o.) gewirkt hat, glaubte Penck [740] gewissen indirekten Anzeichen entnehmen zu müssen. Die entscheidenden Nachweise, dass es sich wirklich so verhalten habe, hat F. v. Kerner [741] später nachgebracht. Nach Hansen und Penck [742] lag in Norwegen stellenweise die Eisscheide 100 bis 150 km östlich von der gegenwärtigen Wasserscheide.

Thäler mit wesentlich gleichförmigem Gefälle nennt Penck [743] Normalthäler. Im Gegensatze zu ihnen stehen die Stufenthäler, indem jede Stufe oder Etage eine wenig geneigte Fläche und einen steilen Abfall aufweist; diese Terrassen unterscheiden wir scharf von den an den Abhängen der das Thal einschliessenden Gebirgszüge angelagerten Thalleisten (S. 702); letztere können natürlich ebenfalls terrassiert sein und sind dann Thalterrassen. Die wechselvolle Gestalt vieler Thäler deutet darauf hin, dass während ihrer Entstehung durch korrasive — und parallel gehende tektonische — Thätigkeit Zeiträume intensiver Erosion und Zeiträume intensiver Akkumulation einander folgten.

Die seitlichen Thalterrassen, insoweit sie nicht ursprüngliche Felsbildungen darstellen, entstammen grossenteils der Diluvialperiode, und zwar ist für ihre Aufschüttung besonders die Interglazialzeit bestimmend gewesen, wie Mühlberg [744] auf Grund umsichtiger Prüfung der Terrassenbildungen der Nordschweiz ermittelte. Solche Hügel, auf breiter Basis ziemlich steil ansteigend, zeichnen sich durch überaus glatte, horizontale Oberflächen aus. Bekannt sind die oft abgebildeten Terrassen Norwegens [745], des Fraserflusses in Columbia [746], des Connecticut-River in New-Hampshire [747]; als näher liegendes und ebenfalls äusserst belehrendes Beispiel kleineren Stiles seien die terrassierten Thalhänge der Save nächst Veldes und Radmannsdorf der Beachtung empfohlen, welche den Eindruck erwecken, als seien sie mit dem Messer haarscharf abgeschnitten worden. Hier ist das Werk der Aufschüttung offenbar, wie denn auch schon Bodmer, der den von Supan (s. o.) noch schärfer präzisierten Gegensatz zwischen Fels- und Ausfüllungsterrassen richtig erfasste, sich dahin aussprach [748], dass nur ein kleiner Teil aller dieser Bildungen in die erstere Klasse — als Verwitterungsbänder (vgl. S. 878) — zu verweisen sei. Bodmers fünfzehn Thesen [749] fassen die genetischen und geographischen Verhältnisse der Thalstufen und Thalterrassen übersichtlich zusammen. Natürlich ist, da auch die seitliche Erosion (S. 890) mitspielen kann, der Schichtenwechsel in den Thalgehängen ebenfalls kein unwesentlicher Faktor, wie K. Schneider [750] an den Thalleisten der Eifel darthut. Die Periodizität, welche sich in den einzelnen Erscheinungen offenbart, hat zuerst Penck [751] klargelegt. Wenn es viel Wasser gab, wenn die Gletscherentfaltung eine mächtige war (Kap. III, §. 12), so wurde viel Schotter und Detritus abgelagert; Perioden des Rückganges der Gletscher dagegen entsprach eine lebhaftere Eingrabung des Flusses in das aufgehäufte, lockere Material. Solche alternierende

Perioden der Erosion und Aufspeicherung sind auch bei nordamerikanischen Flüssen, sowie bei Nil und Indus, nachzuweisen [752]. — Die Art und Weise, wie sich in stufenreichen Gebirgsthälern im Bereiche der einzelnen Thalabteilungen die gleichen Szenen wiederholen, erläutert Heim [753] am instruktiven Belege des oberen Reussthales. Allenthalben wiederholen sich regelmässig die drei Phasen der Thalgestaltung: Einschneiden, Verbreitern, Ausfüllen des Thalgrundes. Jedenfalls haben wir da die weitaus wichtigsten Prozesse genannt; indessen will Loewl [754] auch noch anderweiten Momenten einen gewissen Einfluss zugestanden wissen, so insonderheit den säkulären Verschiebungen der Uferlinie des Meeres (Kap. I der vorigen Abteilung).

Der Austritt eines Seitenthales in das Hauptthal (Via mala des Vorderrheins; Durchbruch der Gasteiner Ache bei Lend) vollzieht sich gar nicht selten in einer sogenannten Klamm [755]. Nicht minder bilden Klammen oft den Uebergang von einer Thalstufe zur anderen, wie man am besten am Oetzthale sieht (Schlucht Kühtreien zwischen den Thalweitungen von Zwieselstein und Huben, Schlucht Maurach zwischen der letzteren und dem Thalboden von Umhausen). Je fester das Gestein ist, um so mehr ähnelt die Klamm einem Cañon (S. 907); das Querprofil hat reine V-Form, und die Einzelbilder des Auswaschungsvorganges lassen sich oft in nicht zu übertreffender Reinheit beobachten (Wimbachklamm bei Berchtesgaden, Schwarzbachklamm bei Unken, Seissenbergklamm am Hirschbühelpasse, Liechtensteinklamm und Kitzlochklamm in rechtsseitigen Nebenthälern des Salzachthales). Kalk wird viel leichter von einem wasserreichen Bache klammartig ausgehöhlt, als etwa der leicht zerstörbare Schiefer. Die laterale Erosion schiebt die Wände auseinander und bewirkt allmählich die Umwandelung der Klamm in ein eigentliches Thal mit dem gewöhnlichen trapezförmigen Querschnitte.

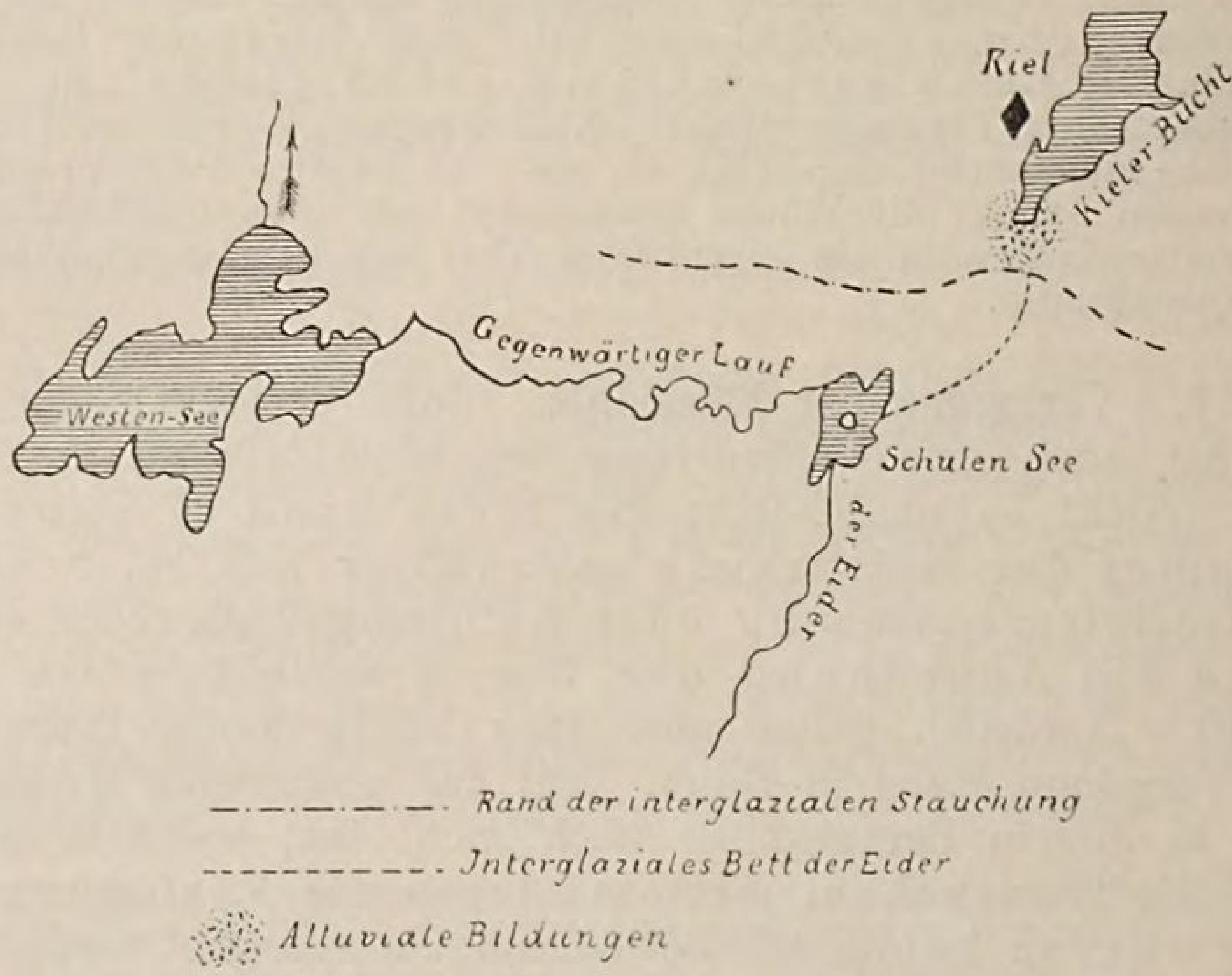
§. 17. **Verlegung der Flussläufe.** Jede Verlegung der Wasserscheide hat auch eine Veränderung der Flussläufe im unmittelbaren Gefolge. Nicht so umgekehrt; ein Fluss kann in seiner Thalebene, unter der Einwirkung sekundärer Kräfte, recht wohl eine Parallelverschiebung oder Richtungsänderung erfahren, während die Anordnung der Wasserscheiden die gleiche verbleibt. Natürlich gehen aber doch häufig genug beide morphologische Vorgänge Hand in Hand. Auf das ursächliche Moment lassen wir uns in diesem Paragraphen noch nicht ein; vielmehr sollen hier nur kurz die Thatsachen, mittelst deren die Verlegung sichergestellt werden kann, der Betrachtung unterzogen werden.

Handelt es sich um Vorkommnisse der geologischen Vorzeit, vorab im späteren Tertiär und Diluvium, während welcher Perioden dergleichen sich mit Vorliebe wiederholte, so gewährt die Verfolgung von Trockenthälern, verwischten Rinnen und linear angeordneten Schottermassen die beste Hilfe. Das Wort Trockenthal braucht dabei nicht im buchstäblichen Sinne genommen zu werden; es genügt, dass ein Thal auf die Erosionsarbeit einer stärkeren Wassermasse hindeutet, wie sie von dem jetzt vorhandenen Bache nicht erwartet werden kann. Bei Neumayr-Uhlig wird [756] ein Kärtchen reproduziert, aus dem zu ersehen, dass diluviale Weichsel und diluviale Oder sich nahe dem jetzigen Havelberg mit der diluvialen Elbe vereinigten. Ueber die Ursachen dieser starken Abweichung lässt sich Bestimmtes nicht aussagen; klarer liegen die von H. Haas [757] aufgedeckten Gründe zu Tage, welche bewirkten, dass die Eider zur Nordsee abgelenkt wurde, während sie vor der ersten Eiszeit, ebenso wie die zur Kieler Bucht strömende Schwentine, der nahe gelegenen Ostsee zufloss. Fig. 215 gibt den erforderlichen Aufschluss. Noch in der interglazialen Periode war der Eiderlauf der natürliche; aber nachher setzte ihr ein aus undurchlässigem Geschiebemergel (s. u. in §. 24) bestehender Stauchungswall ein so machtvolles Hindernis entgegen, dass sie genötigt wurde, den Schulen-See nicht mehr östlich, sondern westlich zu verlassen und sich dem Westen-See zuzuwenden. Die Schwentine befand sich in ähnlicher Lage; da jedoch hier der Wall nur aus Sand u. dgl. aufgehäuft war, vermochte sie sich den früheren Weg wieder zu erkämpfen. — Sehr belehrend ist das Studium des alten Donaulaufes im Wellheimer Thale (Frankenjura), von welch

letzterem, zur Bekräftigung unserer obigen Angaben, Goetz [758] folgendes aussagt: „Diese stark gewundene Thaleinsenkung zwischen Altmühl und Donau ist schon an ihrer gleichmässigen Tiefe und ihrer Breite als ein Ergebnis einstiger Arbeit eines starken Wasserstromes zwischen den beiden Flussthälern erkennbar.“ Da wies denn v. Gümbel [759] nach, dass auf der Thalterrasse bei Hütting Gerölle aus alpinen Gesteinsarten liegen, welche den ehemaligen Donaulauf markieren. Die Felsbarre zwischen Stepperg und Neuburg a. D. war der Fluss anfänglich nicht zu durchsägen im stande, so dass er nördlich ausbog und sich, dem Wellheimer Thale folgend, mit der diluvialen Altmühl — später auch zum Teile mit der heute bei Ingolstadt mündenden Schutter — vereinigte. Die grossartige Versumpfung des alten Schutterthales bei Nassenfels ist als ein Altwasserrest anzusehen. — Das Donauthal im allgemeinen ist, den während der Eiszeit angelagerten Terrassen nach zu schliessen, prädiluvial [760], hat aber später sich sehr ansehnlich vertieft.

Eiszeitliche Flussverlegungen sind auch in der Schweiz unverkennbar; wesentlich deshalb, weil nach Zollinger [761] auch die Niveaux der Seen namhafte

Fig. 215.



Veränderungen erfuhren. Während der Zeiten starker Vergletscherung wuchs infolge Thalauffüllung die Wassermasse der Seen, und in den eisfreien Pausen entleerten sich dieselben durch starke Erosion ihrer Abflüsse. In der vorletzten Interglazialperiode vereinigte sich die Kander (S. 894) erst bei Belp mit der Aar [762]. — Ob dagegen Gumprechts Schlussfolgerung, dass der Natisone ein präglazialer Nebenfluss des Isonzo gewesen und erst in der späteren Diluvialzeit in seine gegenwärtige Laufrichtung gelenkt worden sei, die Verhältnisse zutreffend darstellt, kann bezweifelt werden [763].

Wenn es sich um Flussverschiebungen in historischer Zeit handelt, so geniesst man den Vorteil, neben dem geologischen Befunde, der natürlich auch in solchen Fällen aufgenommen wird, die litterarischen Quellen verwerten zu können. Freilich bedarf es oft einer scharfen Kritik, um Wahres und Falsches zu trennen. Am günstigsten gestaltet sich die Lage, wenn die Prüfung an Ort und Stelle mit den geschichtlichen Belegen übereinstimmt.

Dies gilt z. B. für das Rheinthal oberhalb des Boden-Sees. Nach Wey [764] hatte, wie aus Strabons Angaben erhellt, in der Zeit vor Christi Geburt der in Serpentinen durch versumpftes Land ziehende Strom einen anderen Lauf, als

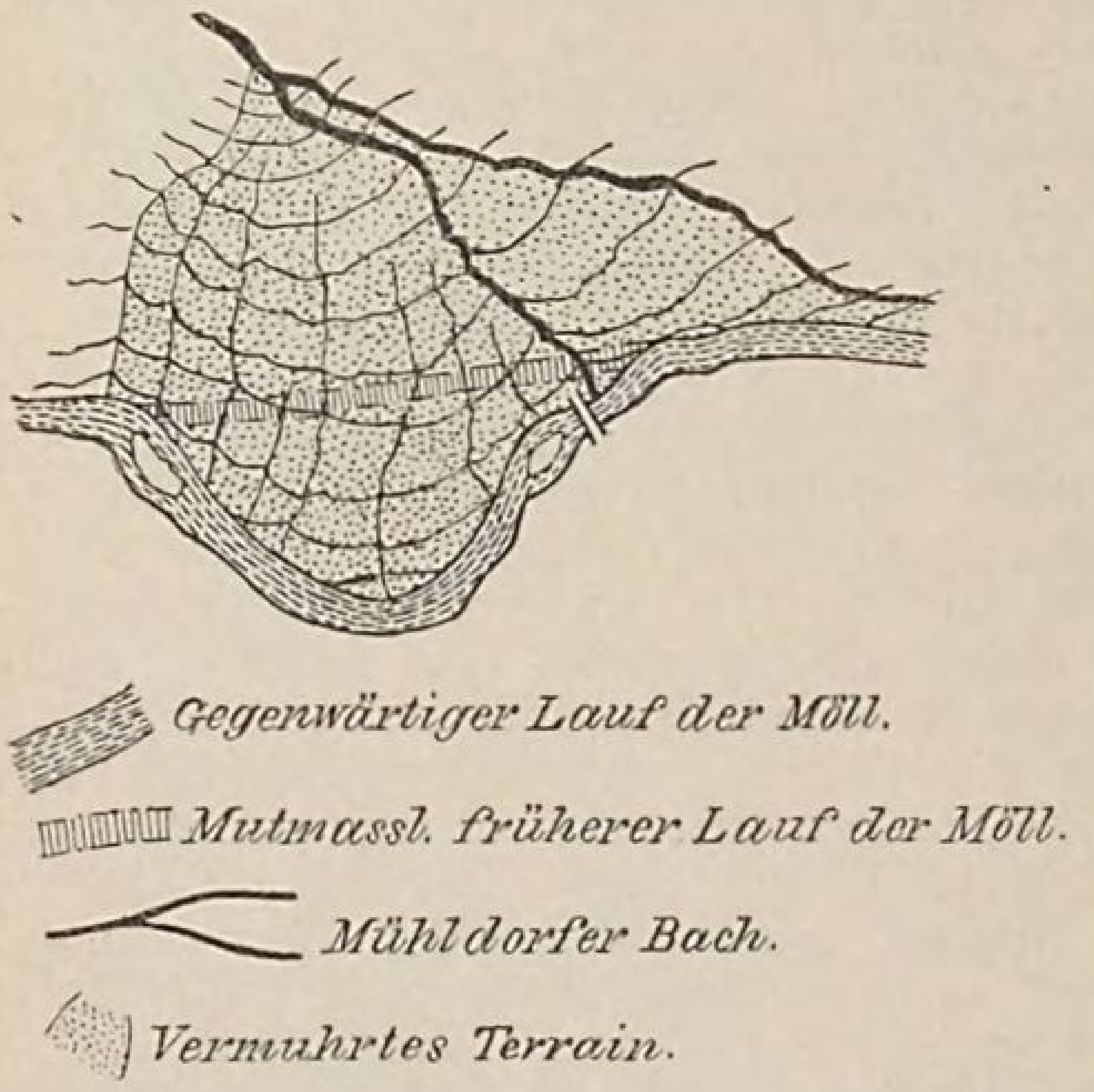
er später — auch vor der grossen Korrektion — eingehalten ward. Bei Altenrhein, zwischen Rheinspitz und Rorschach, befand sich eine Rheinmündung; dafür spricht auch Vadians (I, S. 24) Beschreibung in seinem Kommentare zum Pomponius Mela. — Ueber die nicht unbeträchtlichen Veränderungen des Laufes der Saale seit Menschengedenken orientieren einerseits Hertzberg [765], andererseits Grössler und Schröter [766]. Durch Vergleichung der Generalstabskarten mit den älteren Flurkarten ergeben sich zahlreiche verschwundene Flussarme und Flussinseln, während andererseits wieder durch Neubildung bebuschter Inseln und Wasserstauung eine Verbreiterung des Flussbettes zu stande kam. Orts- und Flussbenennungen bekunden den stetigen Fortschritt der Versumpfung. Die Anzahl der Furten und Uebergänge war im Mittelalter grösser. — Ueber eine der Neuzeit angehörige Teilung der Elbe bei Magdeburg liegt eine Untersuchung von Maenss [767] vor. Allerdings scheint menschlicher Eingriff das Bild stark verändert zu haben. — Die Geschichte des toskanischen Chianathales, wie sie von Reyer [768] geschrieben ward, ist sehr belehrend. Durch diese Thalsenkung floss in prähistorischer Zeit der Arno in den Tiber, und erst in historischer erfolgte die Ablenkung der Gewässer des ersteren gegen Westen. — Von aussereuropäischen Flüssen ist keiner durch energische Laufänderungen so bekannt, wie der Hwang-ho. Von Neumayr-Uhlig [769] werden die wichtigsten dieser Abweichungen vom früheren Laufe verzeichnet; Ereignisse, welche stets Unheil für Hunderttausende mit sich brachten. Wegen genauerer Nachweisungen sind die Werke v. Richthofens [770] und Pumpellys [771] zu Rate zu ziehen. Die Zeit der Schwankungen scheint mit dem Jahre 620 n. Chr. anzufangen; der Durchbruch gegen Südosten erfolgte im XIII. Jahrhundert, die Rückkehr nach Norden, unter grauenvollen Verwüstungen, im Jahre 1852. Von 1872 bis 1889 sind nicht weniger als 28 neue Durchbrüche vorgekommen, und unter ihnen war derjenige von 1887 der verheerendste.

Die vielleicht interessanteste einschlägige Frage ist wohl die: Hat der Amu Darja (Oxus), der jetzt in den Aral-See mündet, früher sein Wasser dem Kaspischen Meere zugesendet? Von Lochtin [772] beginnend, haben russische Forscher in neuerer Zeit gründliche Studien über die vermeintliche Laufänderung dieses Steppenflusses angestellt; Konschin, Fürst Gedroic, Muschketow, Romanowski, Filipow, Bochdanowitsch u. a. sind in dieser Beziehung zu nennen, und v. Kaulbars [773], sowie Gluchowsky [774] haben sich in umfänglicheren Schriften über die erzielten Resultate verbreitet. Neben der schon etwas älteren Schrift von De Goeye [775] sind für die Westeuropäer, welche jene Forschungen kennen lernen wollen, die Veröffentlichungen von Toula [776], v. Erckert [777] und Komischke [778] besonders geeignet. Die von Blanc [779] wieder aufgenommene Ansicht, es habe doch ein Oxusarm dereinst den Kaspischen See erreicht, lässt sich nicht aufrecht erhalten, vielmehr dürfte das Schlussfazit dieser Untersuchungen dahin zu ziehen sein [780]: Nachdem das Sarmatische Binnenmeer (S. 780) sich in eine Anzahl grösserer und kleinerer Salzseen aufgelöst, und seitdem der Aral-See im wesentlichen seinen heutigen Umfang angenommen hat, nimmt er den Oxus auf, der zu Beginn der historischen Zeit wahrscheinlich in den Sarykamysch-See, niemals aber in das Kaspische Meer floss.

§. 18. **Morphologie der Flussbetten.** Nachdem wir so von der Realität so mancher Stromverlegung Kenntnis genommen haben, liegt es uns ob, die Ursachen solcher Vorkommnisse zu ergründen. An und für sich kann man eine ganze Anzahl von Ursachen ins Auge fassen, von denen manche allerdings nur in ganz konkreten Fällen zur Geltung kommen werden. Ein Wasserlauf kann dadurch abgelenkt werden, dass er sich durch die eigene Geschiebeführung den natürlichen Weg verbaut oder dass äussere Störungen ihn direkt diesen zu verlassen zwingen; es können Sandverwehungen ihn seitlich drängen; die Erdrotation wirkt in gleichem Sinne auf ihn ein; auch Winde gibt es, die in gleicher Richtung auf ihn einwirken. Wichtiger jedoch, weil allgemeiner und kräftiger wirksam, erscheint die in der Mäanderbildung sichtbar werdende Erosionsthätigkeit.

a) Gerölleverbauung. Da, wie erwähnt (S. 824), Wasser und Geröllemassen sich, wie zwei selbständige Ströme, durch das Flussbett bewegen, so kann es, namentlich nach Hochwasser, leicht dahin kommen, dass der Fluss bei Niedrigwasser die Kraft verliert, sich durch die aufgehäufte Kiesbank hindurchwinden zu können, und alsdann muss er sich einen neuen Weg suchen. Einen drastischen Fall dieser Art führt Gerland [781] aus Sumátra an. Penck legt [782] besonderes Gewicht auf das Verschleppen der Seitenflüsse durch den Hauptfluss, indem durch die Geschiebebänke der Mündungspunkt noch weiter stromabwärts verschoben wird, als dies schon von Hause aus geschehen würde (S. 813). Umgekehrt kann ein viel Trümmerwerk mit sich führender Nebenfluss, wie dies im Gebirge die Giessbäche (S. 835) zu thun pflegen, den Hauptfluss zum Ausweichen nötigen. Am Neckardelta bei Mannheim veranschaulicht Naeher [783] den Erfahrungssatz: „Wenn sich ein stark fallender, Geschiebe führender Seitenfluss mit einem ruhiger fliessenden Hauptstrome verbindet, so wird er an der Ausmündungsstelle immer mehr nach aufwärts gedrängt.“ — Schuttkegel von Wildbächen, vorschreitende Gletscherzungen, vor allem aber Muhrbrüche (S. 899) bewirken ihrerseits zuerst Aufstauung und nachgerade Ablenkung des fliessenden Wassers. In Fig. 216 ist nach Stefanović von Vilovo [784] der Lauf der Möll, eines Nebenflusses der Drau, dargestellt, wie er wurde, als der Mühldorfer Bach eine ungeheure Muhre herabgewälzt und das alte Bett teilweise zugeschüttet hatte.

Fig. 216.



b) Sandverwehung. Es war besonders der bekannte Strombautechniker Stefanović von Vilovo, der in mehreren Publikationen [785] das Wandern der Sandbänke in Ungarn als eine Veranlassung der dort bemerkten Parallelverschiebung gewisser Flüsse festgestellt hat. Der Flugsand lagert sich beim Niederfallen in parallelen Kämmen (Semlas), welche zwischen sich kein Wasser dulden, und so wird die Flussverlegung, was zumal bei Donau und Theiss beobachtet werden kann, eine immer energischere.

c) Ablenkung durch die Erdumdrehung. Bei früherer Gelegenheit (I, S. 239 ff.) ist bewiesen worden, dass annähernd horizontal bewegte Körper auf der Nordhalbkugel immer nach rechts, auf der Südhalbkugel immer nach links vom ursprünglichen Laufe abgelenkt werden. Zu den dort erwähnten litterarischen Belegen, welche Art und Grösse dieser Deviation in allen möglichen Erscheinungsgebieten verfolgen, ist seither noch eine merkwürdige Ergänzung gekommen, indem aus den Drehungen eines langen Meteorschwarmes (I, S. 89) die Notwendigkeit der Achsendrehung der den Beobachter bergenden Erde erschlossen wurde [786]. Alle bis dahin vorliegenden Stimmen über das sogenannte Baersche Gesetz (I, S. 241) hat B. Neumann [787] in seiner Monographie über jenes gesammelt und geprüft. Die Fassung des sogenannten Gesetzes [788], welcher zufolge die stärkere Inanspruchnahme des rechten und linken Ufers bezüglich auf der nördlichen und südlichen Halbkugel nur bei wesentlich meridional gerichteten Flussläufen zur Geltung kommen sollte, war unzutreffend, denn wir überzeugten uns (a. a. O.), dass in dem für die Deviationsgrösse gefundenen Ausdrucke das Azimut der Anfangsrichtung gar keinen Platz gefunden hat. Die notwendige Korrektur brachte Babinet [789] an. Fürs erste mehrten sich die Anhänger des Baerschen Gesetzes, welches Klun [790], Benoni [791], Denzler [792], Schweinfurth [793], Baines [794], Keith Johnston [795] und W. Schmidt [796] unter Berufung auf zahlreiche europäische und aussereuropäische Flüsse befürworteten. Dann setzte die Reaktion ein; Jarz [797] und, mit besonderer Entschiedenheit, Dunker [798] vertraten den entgegengesetzten Standpunkt, und durch Finger [799] und Zoeppritz [800] schien das negative Ergebnis völlig gesichert zu sein; der letztere

berechnete elementar, ein von Buff [801] angedeutetes Verfahren weiter ausbildend, den Betrag der Strecke, um welchen am stärker angegriffenen Ufer das Wasser höher als am weniger stark angegriffenen steht, und wies diesen Betrag als einen minimalen nach. Auch B. Hoffmann [802] und Potinecke [803], welch letzterer an einem Gebirgsflusse des Harzes freilich auch wohl kein besonders günstiges Untersuchungsobjekt ausgewählt hatte, bestreiten die Berechtigung der Baerschen Regel. Allein aus Gilberts Kalkul [804] geht doch hervor, dass bei breiten und mächtigen Flüssen von einer namhaften und messbaren Verschiedenheit der Beanspruchung beider Flussufer die Rede sein kann. Wenn r den Krümmungshalbmesser einer konkaven Uferstelle, v die Geschwindigkeit der Strömung, w die Winkelgeschwindigkeit der rotierenden Erde und φ die geographische Breite bedeutet, so verhalten sich auf der nördlichen Hemisphäre die bezüglich die rechte und linke Seite angreifenden Kräfte k_r und k_l im Sinne der Proportion:

$$k_r : k_l = (v + 2\,r w \sin\varphi) : (v - 2\,r w \sin\varphi).$$

Beim unteren Mississippi soll nach Gilbert (s. o.) $k_r : k_l = 109 : 100$ sein, und dieser unechte Bruch ist von der Einheit schon ziemlich verschieden. Auch fand Fontès [805], dass wirklich die Querstellung des Flusspiegels erkennbar ist. Schliesslich darf man die zu gunsten v. Baers sprechenden Wahrnehmungen gewiegter Geologen, wie Suess [806] und Peters [807], die beide auf die Donau Bezug nehmen, nicht geringschätzen, und auch Penck, der in seinem grossen Werke [808] das Problem allseitig erörtert, bemerkt von dem genannten Strome [809], dass die rechten Prallstellen (S. 824) durchweg tiefer, d. h. schärfer erodiert seien, als die an der linken Uferseite. Mit Rücksicht auf alle diese Umstände muss eine früher [810] aufgestellte Behauptung teilweise berichtigt und gesagt werden: Wenn auch die aus der Erdumdrehung entspringende Ablenkungstendenz kein allzu einflussreicher morphologischer Faktor ist, so vermag sie doch bei der Verschiebung des Wassers, die dann auch eine Verschiebung des Bettes nach sich zieht, im Verlaufe sehr langer Zeiträume mitzuwirken.

d) Ablenkung durch Winde. Die unter b) besprochene Sandverlegung erfolgt grossenteils unter dem Einflusse des in Südungarn wohlbekannten, Koschawa (S. 307) benannten Windes. Aber auch sonst können stetig wehende Winde, wie G. Bischof [811], Stefanović v. Vilovo [812] und W. Koeppen [813] zeigten, das Wasser so entschieden seitwärts drängen, dass es sich immer kräftiger in die von einer starken Komponente der Luftströmung getroffene Uferwand einfrisst. Koeppen betrachtet, von den auch bei v. Baer (s. o.) in den Vordergrund gestellten sibirischen Strömen ausgehend, die in Rede stehende Gesetzmässigkeit wesentlich als „eine Wirkung meteorologischer Ursachen“. Klinge hat [814] direkt das Fortrücken der Flussläufe als eine Folge der mittleren Windrichtung hingestellt. Penck bemerkt richtig [815], dass bei seichten Flüssen diese ablenkende Kraft sich als die besonders starke erweisen wird, im Gegensatze zu den tiefen Flüssen, denen gegenüber die Erdumdrehung leichteres Spiel hat.

e) Serpentinisierung. Die den Wasserläufen durchaus eigene Neigung, in Serpentinen (Schlangenlinien) oder Mäanderlinien (nach dem kleinasiatischen Flusse Mäander, Menderes, so genannt) zu fliessen, ist nach Dunker [816] das besonders treibende Element, wenn Flüsse von ihrem bisherigen Laufe abweichen. Schon Kant hatte [817] die Gründe, unter deren Einwirkung ein Fluss Schlängellinien beschreibt, klar erkannt und den Wechsel von Ablagerungs- und Prallstellen (S. 824) zutreffend erklärt. Vielleicht am gründlichsten hat in unserer Zeit Davis [818] die Ursachen der Flusskrümmungen studiert, unterstützt durch treffliche schematische Zeichnungen, welche das langsame Fortschreiten des Denudationswerkes illustrieren und klar ersehen lassen, wie aus einem Cañon schliesslich ein breites Flussthal mit schmalem Rinnsale und weitem Auengebiete werden kann. Betreffs dieses letzteren Ausdruckes nehmen wir Kahles [819] Definition an: „Die zur Seite eines Flusses verlaufende alluviale Fläche, welche quer zur jeweiligen Thalrichtung streicht, in der Richtung des Thales aber ein dem Oberflächengefälle des Wasserlaufes ähnliches Gefälle aufweist, wird als Aue bezeichnet.“ Dieselbe bildet eine besondere Form der Thalsohle (S. 702); ihre Ränder sind gekrümmte Linien, welche den Flussufern nicht parallel zu sein brauchen. Zwischen Flusslänge, Auenlänge und mittlerer Breite des Auenabschnittes besteht nach Kahle ein approximativ anzugebendes, gegenseitiges Abhängigkeitsverhältnis. — Würde sich das Wasser auch in einem Kanale von strenger Geradlinigkeit bewegen, so würde

die seitliche Erosion, welche die Serpentinisierung immer zuerst einleitet, gleichwohl Gelegenheit finden, sich da und dort zu äussern; wechselnde Besonnung und wechselnde Befeuchtung, letztere ein von Krümmel (s. o.) und Rucktäschel [820] besonders urgierter Umstand, lockern das Gefüge der einen Uferwand, und damit sind Ansatzpunkte für die zerstörenden Kräfte geschaffen. Zudem sind die Stromfäden niemals gerade Linien, sondern auch im exaktesten Normalfalle, wie (vgl. S. 822) J. Thomson [821] und Möller [822] darthaten, spiralig gekrümmte Linien, so dass also, wenn die Symmetrie der Ufer erst ein klein wenig beeinträchtigt ist, ganz von selbst hier der sich stetig vertiefende Einschnitt, dort die progressive Geschiebeablagerung stattfinden muss. Aus letzterer kann sich durch einen Prozess, den Lorenz v. Liburnau [823] an der Donau oft genug zu verfolgen in der Lage war, eine Aue herausbilden. Im allgemeinen sind [824] da, wo der Fluss sich von einer Krümmung zur anderen wendet, Untiefen (Schwellen) vorhanden, welche die Durchfurtung begünstigen und oft historische Bedeutung erlangten.

Angesichts der Thatsache, dass viele Flüsse vom Gepräge der Wildwasser (S. 822) einerseits immer unbefugtere Eingriffe in das angrenzende Land machen und dieses durch Hochfluten gefährden, andererseits aber, weil Gefälle, Wasserstand und Geschiebeführung unbeständig sind, der Schiffahrt grosse Hindernisse entgegensetzen, erweist sich die Flussregulierung in vielen Fällen als eine Notwendigkeit. Der Ingenieur muss, wie Faber [825] betont, sein Augenmerk darauf richten, das zerrissene und gespaltene Flussbett wiederherzustellen, die Geschiebebewegung zu mässigen und möglichst gleichförmig zu machen und so die Höhenlage der Flussohle auszugleichen. Kürzung des Flusslaufes durch Anlegung geradliniger Durchstiche ist nur unter ganz bestimmten Voraussetzungen von Vorteil; im allgemeinen ist, zumal bei niedrigen Ufern, die Ueberleitung des verworren gekrümmten Laufes in die der Natur am meisten entsprechenden regelmässigen Serpentinen vorzuziehen.

Ob im Einzelfalle Baggerung, Sprengung, Traversen- und Buhnenbau den angestrebten Zweck am sichersten erreichen lassen werde, hat der Fachmann zu entscheiden. Besonders häufig kommen die Buhnen (Wuhren oder Traversen) zur Anwendung, Einbauten, die eine zur Stromrichtung wechselnde, sogar auch senkrechte Richtung haben und, aus Senkfaschinen, Steinen oder Erde hergestellt, dazu dienen, die Strömung in gewisse Bahnen zu leiten und dem Ufer Schutz zu gewähren [826]. Als Grundschwelle kann die Buhne, die sonst meist den Hochwasserstand überragt, ganz unter Wasser liegen. Ehedem lag den Hydrotechnikern nur daran, den Hochwasserverhältnissen gegenüber Schutzvorrichtungen anzubringen; heutzutage im Gegenteile gilt, wenigstens bei Schiffahrtströmen, für unerlässlich die Regulierung auf Niederwasserstand, wie Faber [827] darlegt. So ist es bei der Oder gehalten, bezüglich deren, neben den Teilmonographien von Leonhard [828] und Loeschmann [829], besonders auf das offizielle Oderwerk [830] zu verweisen ist; von letzterem hat Penck [831] einen übersichtlichen Auszug veröffentlicht. Für die Wolga ist von Renner [832], für den Pruth [833] ist gleichfalls die Regulierungsfrage erörtert worden: Hensel [834] weist (vgl. S. 832) am Beispiele der Isar die vulgäre Ansicht zurück, dass jede Flussverbesserung die Ueberschwemmungsgefahr erhöhe. Ungemein viel ist in Baden für die Korrektion der Gewässer geschehen, und es sind mit den einschlägigen Arbeiten die Namen Tulla und Honsell untrennbar verknüpft; Treutlein führt [835] in der wertvollen gemeinverständlichen Studie, welche namentlich die Leistungen des letztgenannten einlässlich bespricht, an, dass das Grossherzogtum in den Jahren 1816 bis 1886 nicht weniger als 23 Mill. Mark für solche Aufgaben verausgabt habe. Auch der Hochrhein ist durch die Schweiz und Oesterreich gründlich reguliert und so die weite Ebene zwischen Appenzeller und Vorarlberger Alpen grossenteils aus Sumpf- in Kulturland umgewandelt worden; hier waren, wie Gersters Karte anschaulich zeigt [836], Rektifizierungen ganz an ihrem Platze, weil, worauf auch Faber (s. o.) hinweist, schon bald ein Läuterungsbecken den mit Gerölle beschwerten Strom aufnimmt. — Vorbedingung für eine rationelle

Flussarbeit ist Vertrautheit mit den meteorologischen und hydrologischen Verhältnissen der in Betracht kommenden Einzugsgebiete; über die hiezu führenden, also vorbereitenden Studien hat sich der deutsch-österreichisch-ungarische Binnenschiffahrtsverein, anlässlich seiner Wiener Tagung im Jahre 1896, eingehenden Bericht [837] erstatten lassen.

Die allgemeinen Fragen der Flussmorphologie sind damit genugsam besprochen. Noch aber übrigen einige geophysikalisch besonders beachtenswerte Erscheinungen; wir meinen die Stromteilung, die Bildung von Flussrinnen im Grunde stehender Gewässer und die Entstehung der Flussinseln. Damit ist also noch Stoff zu weiteren Spezialuntersuchungen gegeben.

a) Stromteilung. Wenn ein Strom sich in mehrere Arme teilt, so ist diese Spaltung, falls sie nicht in der Nähe des ohnehin zielsetzenden Meeres oder Binnensees stattfindet, womit Deltabildung (S. 624) eingeleitet wird, fast stets nur eine vorübergehende. Zwischen den einzelnen Stromästen liegen eben Inseln, welche eine dauernde Entfremdung ersterer nicht bewirken können. Immerhin kann es geschehen, dass ein einzelner Arm nicht stabil verbleibt, sondern dass das in ihm fliessende Wasser einen ganz neuen Weg einschlägt. Damit ist dann eine Stromgabelung oder Bifurkation [838] (bis, zweimal; furca, Gabel) eingeleitet, wohl zu unterscheiden von oberflächlicher Flussvermischung, wie sie in Gegenden mit starkem Regenfalle und schwacher Profilierung der Wasserscheiden vorkommt (S. 816). Ein solcher Arm kann als Altwasser enden oder versumpfen; er kann, wie O. Derby [839] am unteren Amazonas nachweist, sich mit einem Nebenflusse des Hauptstromes vereinigen; er kann endlich auch die Verbindung mit einem ganz anderen Stromsysteme gewinnen. Bifurkationen finden oft unterirdisch statt (vgl. S. 830); in Sumpfregionen kann man gleichfalls eine unsichere Kommunikation zweier Flussgebiete beobachten, und vorab die Maye der tropischen Länder (S. 826) können Anlass zu förmlichen Stromvereinigungen geben. Während aber das Mittelalter in der Annahme grossartiger Bifurkationen (s. S. 812) viel zu weit ging, glaubte die Folgezeit, unter der Führung von Buache [840], selbst die Möglichkeit solcher anscheinend unnatürlichen nassen Kommunikationen zwischen zwei verschiedenen Bassins in Abrede ziehen zu sollen. Und doch existieren sie, sogar in ziemlich bedeutendem Masstabe. In Europa ist das ausgezeichnetste Beispiel die Gabelung der Neredinka auf dem serbischen Amselfelde (Kossovo Polje) [841]. Der eine Ast vereinigt sich mit der der Donau tributären Sitznitza; der andere geht in den Lepenatz und mit diesem in den zum Archipelagus strömenden Wardar. Das grossartigste Schauspiel dieser Art liefert jedoch der Cassiquiare, welcher den Orinoko mit dem Rio Negro, einem Nebenflusse des Amazonenstromes, verbindet. Wenn es auch irrig ist, A. v. Humboldt als den eigentlichen Entdecker dieses merkwürdigsten aller Stromkanäle zu feiern [842], so war er es doch, der die Bedeutung der Vielen unglaublich erscheinenden potamologischen Thatsache richtig erkannte [843]. Er selbst sagt [844]: „Seit einem halben Jahrhundert zweifelt kein Mensch in diesen Missionen mehr daran, dass hier wirklich zwei grosse Stromsysteme mit einander in Verbindung stehen“; auch sonst fand er [845] ungewöhnliche Stromteilungen in den Llanos auf. — Man hat Haases Meinung [846], Stromkanäle seien auf Anzapfung, auf Untergrabung der Wasserscheiden, zurückzuführen, für noch unbelegt erachtet [847], allein die Erklärung, welche Schichtel [848] für die Entstehung des Cassiquiare gibt, geht doch auf das gleiche Ziel hinaus; ihm zufolge grub sich der mit grösster Gewalt aus einer Thalenge hervorströmende Orinoko seitlich in eine Thonbarrière ein, nach deren Durchgrabung dem Abflusse zum Rio Negro nichts mehr entgegenstand.

Auch Zerstörung der Wasserscheiden durch rückläufige Erosion (S. 889) kann Flussvermischung bedingen. Endlich ist auch der Fall denkbar, dass ein stark lateral erodierender Strom die zwischen ihm und einem anderen Flusse gelegene Landenge zerstört und als Räuberfluss („Pirate River“ nach Davis) den schwächeren Nachbar förmlich annektiert. So könnte es nach Davis [849] einmal der Maas ergehen, welche in Lothringen von der weit energischeren Mosel förmlich in ihrer Existenz bedroht wird; schon jetzt erscheint das Bassin der Maas [850] „wie ein winziges Fürstentum, eingeklemmt zwischen den zwei übermächtigen Nachbarreichen der Mosel und der Seine“.

b) Submarine und sublakustre Thäler. Durch die Arbeiten von Forel [851], Issel [852] und Linhardt [853] ist dieses Problem der physischen Erdkunde vollständig geklärt worden. Am Boden-See wurde durch Hoernlimanns kartographische Aufnahmen zuerst eine 4 km lange Rheinrinne konstatiert, die sich bis 125 m unter den Wasserspiegel senkt; die Rhônerinne im Leman liess sich sogar 6 km weit verfolgen. Wenn erst überall so exakte, den strengen Grundsätzen Ravensteins [854] angepasste Bodenreliefkarten der verschiedenen Seen (vgl. S. 777 ff.) vorliegen werden, wie sie in Frankreich, der Schweiz und Oesterreich teils schon fertiggestellt, teils noch in Ausarbeitung begriffen sind [855], so wird sich das Vorhandensein ähnlicher unsichtbarer Fortsetzungen der Flussthäler noch häufiger und bestimmter erkennen lassen. Zahlreich kommen unterseeische Thäler an der ligurischen Küste, an derjenigen des Staates New York und nicht minder auf der pazifischen Seite der Vereinigten Staaten vor, wo Davidson [856] einige bezügliche Fälle aufgedeckt hat. Bezüglich der Kausalerklärung sind zwei Momente in Aussicht zu nehmen: Eine ehemals oberflächliche Erosionsrinne ist vom Wasser überdeckt worden, oder es hat sich rings um das einströmende Flusswasser aus mitgeführtem Gerölle ein beidseitiger Wall aufgeschüttet, während zugleich der Unterwasserstrom sich immer tiefer in den lockeren Untergrund einzuschneiden beflissen war. Beim Kongo führt ein mächtiger unterseeischer Cañon gegen 100 km in den Ozean hinaus; nach Stassano [857] ist sein Bestehen der Grund für das Fehlen jeder grösseren Barre vor der Mündung des wasser- und detritusreichen Stromes. — Wenn man wahrnimmt, dass ein von einem See aufgenommener Fluss noch auf eine Strecke hin seine Färbung beibehält, so ist primär an eine Fortsetzung des Rinnsales unter Wasser zu denken.

c) Flussinseln. Zusammenfassend hat diesen Gegenstand zuerst Frauenfelder [858] abgehandelt. Derselbe unterscheidet [859] Anschwemmungsinseln, Erosionsinseln und Aufschüttungsinseln, welch letztere durch Winde und Sandverwehung entstanden sind. Zur zweiten Klasse rechnet er die Restinseln, Klippen und Felsen im Flusse, wie sie durch Kulschin [860] als Porogi vom Dnjepr und durch Schichtel [861] aus dem Granitgebiete des Rio Negro bekannt geworden sind. Wir würden lieber prinzipiell ursprüngliche und sekundäre Strominseln einander gegenüberstellen. Häufig sind die vom genannten Autor eingehend behandelten Umgehungs- und Durchbruchinseln, letztere dadurch gebildet, dass der Fluss einen stark gekrümmten Mäanderbogen seines schmalen Zusammenhanges mit dem übrigen Lande beraubte; nach dieser Seite hin war schon von Walchner [862] eine gute Vorarbeit mit Bezug auf die Rheininseln geliefert worden. Auch zufällige Umstände vermögen Insel-bildend zu wirken, wie denn die Treibstämme amerikanischer Flüsse (S. 634) sich leicht im Schlamme des Bodens festrennen und nun einen Ansatzkern abgeben, um den sich weiteres Treibmaterial ansammelt. Ein kriegsgeschichtlich merkwürdiger Beleg wird von Beitzke [863] da beigebracht, wo er die furchtbaren Menschenverluste u. s. w. in der Schlacht an der Beresina schildert. „Da, wo die Fuhrwerksbrücke gestanden, die dreimal entzweiriss, war von dem Einsinken so vieler Wagen, Menschen und Pferde eine Insel entstanden, die den Strom in zwei Arme teilte.“ Exempel verwandten Charakters würden sich wohl leicht vermehren lassen.

§. 19. **Genese der Seen.** Als wir uns mit der Lehre von den Binnenseen beschäftigten, blieb die Entstehung der Seebecken einstweilen von der Betrachtung ausgeschlossen (S. 660, 769). Dieser morphologische Teil der Seenkunde verlangt also hier seine Ergänzung. Es handelt sich für uns wesentlich darum, eine genetische Seentafel, vergleichbar den früher mitgeteilten genetischen Küsten- und Inseltafeln (S. 598 ff., 687 ff.) aufzustellen, um in jedem Einzelfalle einem jeden gegebenen See, soweit die Resultate der örtlichen Untersuchung es gestatten, seinen Platz im Systeme anweisen zu können.

Versuche dieser Art sind bereits in grösserer Anzahl zu verzeichnen. Wahrscheinlich einer der ersten ist derjenige De la Métheries [864], der zuerst die Reliktenseen als ein besonderes Genus (S. 770) hinstellt und hierauf Seen unterscheidet, die durch Aufstauung, durch Einsinken des Bodens (Erdfall; vgl. S. 898) und „Zurücktreten des Erdreichs“ entstanden sind. Spätere Klassifikationen sind,

wie Pencks geschichtlicher Rückblick [865] zeigt, von Desor [866], G. Bischof [867] und Wallace [868] gegeben worden, wozu wir auch noch das von den Seen handelnde Kapitel in Rütimeyers Studien über Thalbildung (S. 906) hinzufügen möchten; von ihnen sagt C. Schmidt [869]: „Mit dieser gedankenschweren Schrift hat Rütimeyer, gestützt auf das Lyellsche Prinzip von den ‚Actual Causes‘, die Lehre von der Thal- und Seebildung zuerst in feste wissenschaftliche Bahnen gelenkt. . . .“ A. Boués [870] Einteilungsmodus, welcher wesentlich nur die äussere Form berücksichtigte, konnte in keiner Beziehung genügen; v. Sonklar [871] geht zwar genetisch zu Werke, aber die Merkmale, welche er aufstellt, können schwerlich als einander koordiniert erscheinen; weshalb soll nicht z. B. ein „Eissee“ gleichzeitig ein „Abdämmungssee“ sein können? Eine ernster Beachtung würdige Erörterung der verschiedenen Ursachen, welche Seenbildung bewirken können, gab um dieselbe Zeit Peschel [872]; doch erhob sich Widerspruch sowohl gegen seine Abgrenzung der „Sonklarschen Seen“, der schon von De la Métherie (s. o.) richtig gewürdigten Staubecken, als auch gegen die Beibehaltung der von Desor (s. o.) auf Grund örtlicher Eindrücke im Jura einander gegenübergestellten Komben- und Klusenseen (vgl. S. 906). „Wird“, so wirft Loewl [873] ein, „dieser See als Mulden-, jener als Kombensee angeführt, so erfährt man eben nur, dass der eine in einem synklinen, der andere in einem antiklinen (S. 849) Thale liegt; wie aber ihre Becken in der Thalsohle entstanden, wird damit keineswegs erklärt.“ R. Credner [874] begnügte sich, ohne ein förmliches System auszuarbeiten, mit einer Charakteristik der Momente, welche bei der Seenbildung eine Rolle spielen können. Dagegen lieferten Penck [875] und Davis [876] zuerst detaillierte Seentafeln, die sich, bei gegenseitiger Uebereinstimmung der Autoren in vielen Punkten, doch als ganz unabhängig kennzeichnen lassen. Wir werden darauf noch mehrfach Bezug zu nehmen haben. Das am meisten im einzelnen ausgeführte System möchte jedoch dasjenige v. Richthofens [877] sein, welches deshalb für diese unsere Darstellung die Norm geben soll, ohne jedoch ganz und gar reproduziert zu werden.

Vor allem schliessen wir hier die Abgliederungsbecken aus, Küstenlagunen, Strandriff-, Atoll- und Fjordseen, welche im Kap. II der siebenten Abteilung bereits ihre Stelle erhalten haben. Nicht minder bedarf es hier nicht mehr der Untersuchung der Reliktenseen (Kap. IV, §. 2). Dagegen trennen wir mit v. Richthofen folgende Kategorien, als den Stempel einer jeweils selbständigen Entstehung tragend, voneinander ab: Seen, welche durch zufällige Unebenheiten in Oberflächen lockeren Materiales bedingt sind; Seen, welche durch Abdämmung oder Aufstauung zu stande kamen; Seen, die der Erosion, wie sie auch gewirkt haben möge, ihre Entstehung verdanken (Ausräumungsbecken bei v. Richthofen [878]; Seen, die durch Verwitterung des Felsgesteines ihr Becken erhielten (in Karen); vulkanische Seen; Seen in Einbruchkesseln; Seen, die durch tektonische Veränderungen gebildet wurden. Die verschiedenen Möglichkeiten können einer dieser Gruppen ohne Zwang eingeordnet werden.

a) **Schuttlandseen.** Im Dünensande, im Korallenschutte und in glazialen Trümmeranhäufungen kann sich leicht an Orten mit zufällig festerem Untergrunde (S. 769) eine Wasseransammlung bilden, der freilich im allgemeinen keine besondere Dauerhaftigkeit zuzusprechen sein wird. Hierher gehört so mancher der von Lüdecke [879] den Moränenseen zugerechneten Wasserbehälter; im übrigen ist diese Bezeichnung, wie E. Richter [880] und Penck [881] hervorhoben, keine eindeutige, sondern es werden verschiedene Seen von ganz abweichendem genetischem Verhalten nach rein äusserlichen Kriterien in derselben Klasse zusammengefasst. — Auch Ueberschwemmungsreste, zumeist gleichfalls kurzlebige Bildungen, sind einzubeziehen.

b) **Stauseen.** Irgend ein Damm, plötzlich aufgeworfen, verhindert entweder einen Wasserlauf am Weiterfliessen oder hält wenigstens Wasser zurück, das ohne dieses Hindernis einfach abgelaufen wäre. Die Beschaffenheit des Stoffes, aus welchem die Barrière besteht, bestimmt den Charakter der Untergruppe.

α) **Bergsturzseen.** Dass ein Sturz oder Schlipf von Berg- und Erdmassen die Stauung bewirken kann, leuchtet von selbst ein, und mit den durch Muhrbrüche (S. 899) gebildeten Schuttkegeln ist es ganz ähnlich bestellt. Davis hat (s. o.) diese Spezialform der „Barrier Bassins“ einlässlich behandelt. Nach Peschel [882] ist der Flattacher-See (in einem Nebenthale des Pusterthales) so entstanden; nicht minder der reizvolle Alleghe-See [883] bei Caprile (Oberitalien), dessen Entstehungszeit man genau kennt (1771) [884]. Welche Bewandtnis es mit dem

gewöhnlich mit letzterem gleichzeitig genannten Lago di Santa Croce (bei Belluno) hat, dessen Abdämmung auf das VII. Jahrhundert unserer Zeitrechnung verlegt wird, ist noch nicht völlig aufgeklärt, da auch tektonische Motive mit hereinspielten, und da gewisse Trümmeranhäufungen (vgl. S. 896) noch nicht endgültig als Felssturz- oder Moränenreste diagnostiziert sind. Futterer, v. Mojsisovics, Hoernes, Tenne haben sich mit dieser Streitfrage befasst [885]. Ein mächtiger Stausee wurde 1893 durch einen Bergsturz im Himálaya gebildet [886], indem die Gewässer des Birahi Ganga durch einen ungeheuren Bergbruch, der einen Damm von 270 m Höhe und 600 m Breite aufschüttete, in ihrem Laufe gehemmt wurden. — Gegenüber diesen katastrophenartigen Bildungen zeichnen sich durch langsames Werden aus die

β) Schuttkegelseen. Langsam vorrückende Schuttmassen haben den Anlass zur Entstehung des Antholzer Sees (Nordtirol) [887] und, nach Heim [888], der graubündischen Seen (von Sils, Silvaplana u. s. w.) gegeben. Und der letztgenannte belehrt uns [889] darüber, dass auf die gleiche Art (S. 626) ein einzelner See in ein Aggregat getrennter Seen verwandelt werden kann.

γ) Eisstauseen. Von ihnen und ihren Durchbrüchen sind wir bereits (S. 752 ff.) zur Genüge unterrichtet.

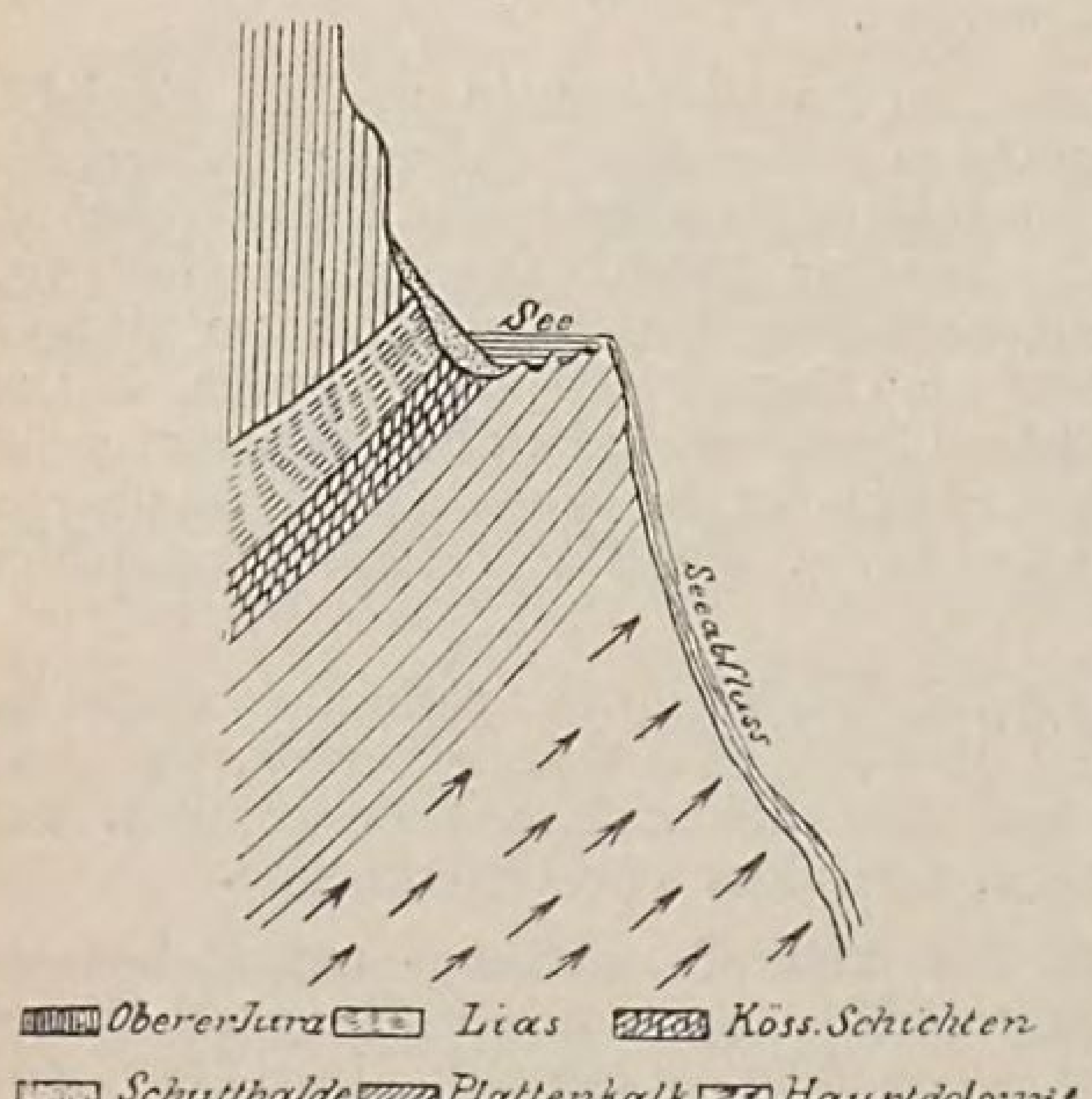
δ) Moränenstauseen. Durch eine Endmoräne vollzieht sich leicht die Absperrung des aus dem zurückgewichenen Gletscher abströmenden Wassers. Zum Teile sind hier auch Davis' Eisrandseen [890] einzubegreifen. Als durch Moränengerölle abgedämmt spricht Penck [891] den Achen-See (Nordtirol) und den Alp-See (bei Immenstadt im Algäu) an. Nach Thoulet [892] wurden auch die Vogesenseen von Gerardmer und Longemer (S. 778) durch vorgelagerte Stirnmoränen angesammelt.

ε) Lavastromseen. Fliessende Lava kann begreiflicherweise den gleichen Effekt erzielen. Doch werden sich solche Seen kaum jemals lange halten.

c) Erosionsseen. Die Erosion des Wassers kann auf zwei verschiedene Weisen Seen-erzeugend wirken, durch Korrasion (S. 889) und Evorsion (S. 889). Aber auch Seen äolischer Ausräumung sind denkbar [893]; die Möglichkeit der glazialen Seebeckenaushöhlung ist bestritten.

α) Korrasionsseen. Die Ansichten darüber, in welchem Masse strömendes Wasser Becken zu bilden vermöge, gehen auseinander. Allein gerade solche Becken, deren Längendimension bedeutend überwiegt, sind doch recht wohl als durch energische, vielleicht durch tektonische Bewegungen begünstigte Korrasion entstanden anzusehen. So erblickt Heim [894] in der Sihl den Stammfluss des den Züricher-See in sich schliessenden Längsthales, indem er zugleich die Hypothese aufstellt, eine Hebung der nördlichen Alpenfalten und eine Einsenkung des Molassegebietes (S. 683) hätten zusammen eine Stauung der verschiedenen, damals schon vorhandenen, fliessenden Gewässer bewirkt, und indem das alte Flussthal „ertrank", wurde es zum langgestreckten See. Die in der Diluvialzeit vorrückenden Gletscher schützten den Hohlraum, der nach dieser Auffassung also doch in erster Linie ein Korrasionsprodukt wäre, vor Schuttausfüllung. Im Einklange mit Heims Ansichten über spättertiäre und frühdiluviale Bewegungen des sozusagen im Faltenrohbau bereits fertigen Alpengebirges stehen auch diejenigen Ules [895] über die Ausfurchung des vom heutigen Würm-See eingenommenen Beckens, dessen Entstehung man seinerzeit fast allseitig der Gletscherthätigkeit zugeschrieben hatte.

Fig. 217.



In einer wesentlich anderen Art und Weise vermag rinnendes Wasser eine Hohlform zuwege zu bringen, wenn nämlich gleichzeitig Schichten ver-

schiedener Widerstandsfähigkeit erosiv beansprucht werden. So erklärt sehr einfach R. Schaefer [896] die Bildung des kleinen Telps-Sees im Karwendelgebirge. Die Schichten des Bergabhanges, in welchen der See eingeschnitten ward, fallen unter steilen Winkeln (etwa 45°) gegen den Horizont, wie Fig. 217 darstellt. Der triassische Plattenkalk hat den Angriffen des von oben niederträufelnden Wassers weit kräftigeren Widerstand entgegengesetzt, als dies die oberen Jura- und Triasschichten thaten, und so entstand eine Umrandung, hinter der sich eine — natürlich oft überlaufende — Wasseransammlung herausbilden konnte. Solches mag sich wohl oft wiederholen, wenn die Anordnung der Schichten eine analoge ist. Wir verweisen z. B. unter den vielen, durchaus höchst instruktiven Gebirgsprofilen, welche E. Fraas mitteilt, auf den Querschnitt von Recoaro [897] (Vicentinische Alpen), wo über kurz oder lang eine derartige Beckenbildung statthaben kann.

β) **Evorsionsseen.** In vielen Fällen ist es denkbar, dass Korrasion und Evorsion (S. 889) Hand in Hand gehen können. Speziell dem Auswirbelungsprozesse des aus den Gletschern sich losringenden Wassers schreibt Geinitz [898] die Entstehung vieler Flachseen in Norddeutschland zu, und ein Gleiches lässt, wenigstens teilweise, Jentzsch [899] für die westpreussischen Seen gelten. Zumal dann, wenn die das Stadtgebiet Lübecks zahlreich bedeckenden Sölle [900], anderwärts Pfühle genannt, in Nordamerika unter dem Namen Tarns bekannt, „kleine, kreisrunde, seltener elliptische, fast immer mit Wasser gefüllte, napfartige Löcher ohne sichtbaren Zu- und Abfluss“ in Rede stehen, wird kaum an eine andere Naturkraft, als an das wirbelnde Wasser zu denken sein. Moeckel betont [901], dass diese westbaltischen Seen meistenteils kein einheitliches Bodenrelief besitzen, sondern sich gewöhnlich aus einer Anzahl kleinerer, selbständiger Wannen zusammensetzen, deren jede ein Evorsionsresultat darstellt.

γ) **Deflationsseen.** Dass in einem Terrain, dessen Oberflächenschichten aus wenig konsistentem Materiale bestehen, auch die Deflation, die Erosion des Windes, kleine Wannen auszuschürfen im stande sei, wird von vornherein zugegeben werden müssen. G. K. Gilbert schreibt [902] mit aller Bestimmtheit dem Winde die Befähigung zu, zerstörte, von der Vegetation nicht geschützte Gesteinslagen ausschaufeln zu können, so dass eine seichte Mulde entsteht, umrahmt von den gleichzeitig gebildeten Dünenwällen. Ob dieselbe sich mit Wasser füllt oder nicht, hängt von den klimatischen Umständen ab. Wir möchten an die Fuldjes Arabiens (S. 891) erinnern, die eben auch als Deflationsseen erscheinen würden, wenn nicht auf jener Halbinsel der Regen zu den sehr seltenen Vorkommnissen gehörte.

δ) **Durch Glazialerosion gebildete Seen.** Es gab (vgl. S. 892) eine Zeit, in welcher der korrasiven Aktion der eiszeitlichen Gletscher die Aushöhlung sehr vieler alpiner und voralpiner Seen aufgebürdet wurde. Vorab Tyndall [903] und Ramsay [904] waren die Bannerträger dieser vielfach mit wahrer Begeisterung aufgenommenen Theorie; die einzelnen Phasen ihres Fortschreitens und den Gang der Debatten, in welchen Lyon, Murchison, Ratzel, Helland, J. Geikie, v. Boehm u. a. befürwortend, Ball, A. Favre, Grad, v. Mojsisovics u. a. abweisend eingriffen, zeichnete mit gewohnter Treue Penck [905]. Gegen seine frühere, entschiedene Verfechtung [906] der Ramsayschen Auffassung ist Pencks spätere Darstellung letzterer [907] eine zurückhaltendere geworden; vor allem wird scharf darauf hingewiesen [908], dass jeder See genetisch als Individuum behandelt und nicht schlechtweg als Beleg für eine bestimmte Hypothese betrachtet werden dürfe. Gewiss thut man recht daran, Hochseen und Randseen der Gebirge, so wie dies von seiten v. Boehms [909] und Heims [910] geschah, unter einheitlichem Gesichtspunkte zusammenzufassen, aber damit ist die glaziale Auspflügungstheorie noch keineswegs als solche gerechtfertigt. Fluviatile Korrasionswirkung, Auswirbelung, Abdämmung, vor allem auch die ein Einsinken des Vorlandes bewirkende präglaziale Krustenbewegung haben wahrscheinlich mehr für die Seenbildung geleistet, als die Gletscher, deren Aktion wir nach wie vor weit mehr als eine passiv-konservierende — so drückten wir uns schon früher (S. 688) aus — denn als eine aktiv-erodierende gelten lassen möchten. Als für die glaziale Seebildung lehrreich sei insbesondere auch E. Baybergers [911] Chiem-See-Monographie hier angeführt.

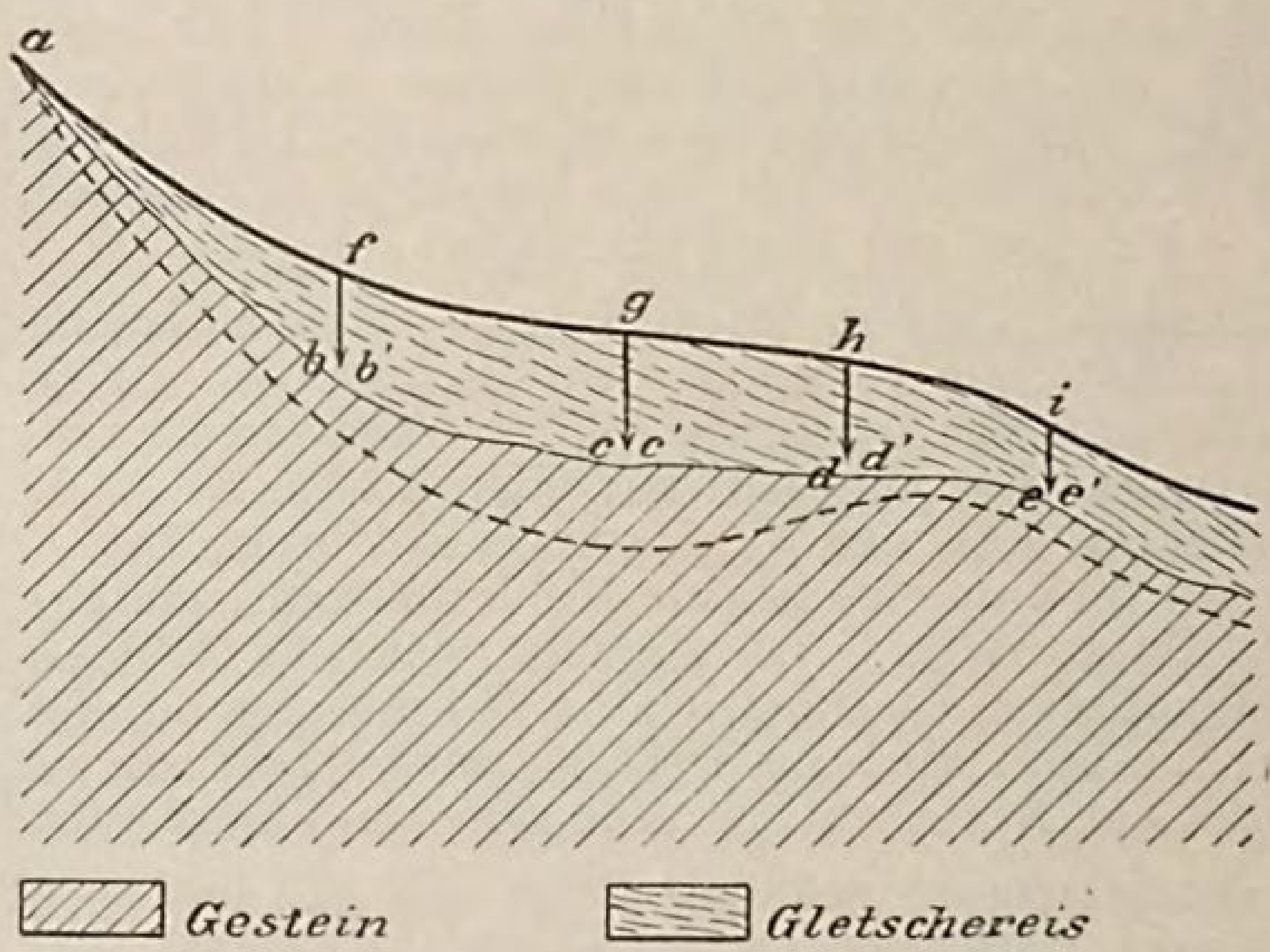
d) **Durch Bodenverwitterung entstandene Seen.** Wir erfuhren oben (S. 878), dass blosse Verwitterung Kessel in festem Gesteine auszutiefen vermag. Gewiss sind so manche unter jenen Karwannen, denen erstmalig Penck [912] ihre

Stelle im Systeme angewiesen hat, auf einfache Verwitterung zurückzuführen; doch treten gerade da auch mannigfaltige konkurrierende Umstände auf, so zumal Abdämmung durch stets sich vermehrendes Schuttmaterial. In sehr vorsichtigem Schlusse lässt auch v. Richthofen [913] die glaziale Korrasion an der Zirkusbildung teilnehmen. abcde (Fig. 218) sei das Vertikalprofil der Sohle eines fluviatilen Sammelbeckens im Hochgebirge, afghi dasjenige einer später darüber gelagerten Firnmasse. Durch fb′, gc′, hd′, ie′ mögen die Druckkräfte in verschiedenen Teilen des Längsschnittes charakterisiert sein. Diese Kräfte sind am grössten etwas hinter der Mitte und nehmen nach oben und unten ab, so dass also der Gletscher sehr wohl an der Ausarbeitung eines Kars mitwirken kann, dessen Wanne er durch sein Schmelzen in einen See verwandelt.

e) **Vulkanische Seen.** Auch in dieser Abteilung sind zwei grundverschiedene Modalitäten auseinander zu halten. Ein in Ruhestand getretener Krater kann sich nach und nach mit Wasser füllen, und es kann durch explosive Kraftwirkung ein Hohlraum entstehen, der — in dazu geeignetem Klima — nachgerade zum Wasserbehälter wird.

α) **Kraterseen.** Zu ihnen rechnen wir, um nur einiger Beispiele zu gedenken, die von Nissen [914] einlässlich beschriebenen Seen des Albanergebirges

Fig. 218.



nächst Rom, sowie die javanischen Vulkanseen, welche Junghuhn [915] zum Gegenstande einer als klassisch anerkannten Schilderung machte. Auch uneigentliche Vulkane (I, S. 374) können sich mit Seen kombinieren. Nissen rechnet [916] hieher den „See der Paliken bei Eryke (Lago Naftia zwischen Palagonia und Mineo); er ist nur noch ein brodelnder Weiher von etwa 150 m Umfang und 4 m Tiefe, der Sommers oftmals austrocknet.“ E. Krause [917] gibt nähere Auskunft über diesen sehr an einen Schlammvulkan (I, S. 376 ff.) gemahnenden See, der jedoch immerhin die Kennzeichen eines Kratersees an sich trägt.

β) **Maare.** Von diesen Rundseen ist schon mehrfach (I, S. 372; II, S. 773) die Rede gewesen. Hier darf also auf näheres Eingehen verzichtet, doch kann zugleich erinnert werden, dass man zwar mit Penck [918] „die Wannen und Seen der Vulkangebiete“ recht wohl zusammenfassen kann, eine scharfe Scheidung in zwei Untergruppen aber doch als wünschenswert bezeichnen muss.

f) **Einsturzseen.** Jeder subterrane Auslaugungsprozess kann Erdfälle und Erdrutschungen und damit Wannenbildung nach sich ziehen. Wenn Penck [919] den Eib-See (am Fusse der Zugspitze) als Einsturzsee erklärt, so berechtigt ihn hiezu, neben anderen Motiven, die Wahrnehmung, dass in der Nähe mehrfach Gips, ein der Auswaschung in hohem Masse zugänglicher Stoff, ansteht. Die Hüllen (S. 903) sind mit Wasser nachträglich ausgefüllte Einbruchskessel; ein Gleiches gilt für den See von Leprignano (S. 773), betreffs dessen die Tagesblätter nachstehendes zu melden wussten [920]. Zwischen dem 8. und 13. April 1895 entstand infolge Erdfalles ein See, den der durch das gleiche Er-

eignis abgelenkte und seitdem im Unterlaufe fast trockengelegte Gramiccia-Bach, in Verbindung mit plötzlich aufsprudelnden, schwefelhaltigen Quellen, zu füllen begann, so dass das 8 m tiefe Loch bald einen Umfang von 1 km erreichte. — Von den hier einschlägigen Karstseen zu sprechen, behalten wir uns für §. 23 vor.

g) **Tektonische Seen.** So ziemlich jedwede tektonische Störung — und die Anzahl solcher Varietäten ist nach §. 2 eine überaus grosse — kann den Hohlraum präformieren, welchen nachher ein See einnimmt. Durch Aufsprengung des antiklinalen Teiles einer Falte (s. S. 849) entsteht unter Umständen ein Kombensee im Sinne Desors (S. 919). Nach Fugger-Sieger ist die Bildung eines Karsees (s. o.) als Unterbrechung der normalen Thalbildung, die auch durch Dislokationen innerhalb der Erdrinde bedingt sein kann, anzusehen [921]. Gewiss das merkwürdigste und grossartigste Beispiel eines tektonischen Sees tritt uns indessen im Toten Meere entgegen. Ueber die früheren und späteren Ansichten, welche sich Lartet, Hull, O. Fraas, Nötling u. a. bezüglich dieses Problemes gebildet haben, orientiert ein Aufsatz von Frei [922]; die neueste Diskussion hat sich zwischen Blanckenhorn [923] und Diener [924] abgespielt. Die erste Spaltung der Tafel, welche den vom Jordan ausgearbeiteten Grabenbruch (S. 848) herbeiführte, erfolgte mutmasslich in der Tertiärperiode; der Ostrand repräsentiert sich noch heute als grossartiger Steilabfall, während der Westrand mehrfach terrassenförmig gebrochen wurde. Die Zerklüftung der Salzlager in prismatische, durch Diaklasen (S. 872) vorgezeichnete Stücke schreitet auch in der Jetztzeit noch fort; hiemit hängt die Entstehung sonderbarer Reliktenfiguren („Lots Weib“) zusammen [925]. — Sehr interessante Mitteilungen über die durch Einbruch vorbereitete Entstehung des Toba-Sees auf Sumátra haben wir unlängst durch Volz [926] erhalten; die grosse Insel ist überhaupt reich an Bruchspalten, und Hoekstra [927] stellt auch die von 170—200 m hohen Mauern eingeschlossene Kluft von Harau als normatives Beispiel für ein durch Bruch gebildetes Thal (vgl. S. 905) hin.

Unser hier abschliessender Ueberblick dürfte zwei Thatsachen ausser Zweifel gesetzt haben, dass nämlich erstens die Seenbildung die verschiedenartigsten Wege einschlagen, und dass zum zweiten nur von sorgfältiger Individualcharakteristik, wie sie Penck (s. o.) verlangt, die Lösung einer konkreten genetischen Aufgabe erhofft werden kann. Fraglos werden ab und zu auch Faktoren verschiedenen Ursprunges ineinandergreifen. Nach dieser Seite hin verdient Swerinzews Studie [928] über die Bildung der Alpenseen besondere Beachtung, weil sie die isolierte und kombinierte Arbeit der bei der Wannenbildung thätigen Agentien sorgsam würdigt und der aller schablonenhaften Wirksamkeit abholden Wirksamkeit der für die physische Geographie wichtigen Naturkräfte im ganzen Umfange gerecht wird.

§. 20. **Tierisches Leben als morphologischer Faktor.** Von zoogenen Bildungen, die also durch das geräuschlose Wirken kleiner und grösserer Tiere zu stande kamen, war bereits mehrfach zu sprechen. Wir gedachten der Korallenbauten (S. 641 ff.) und der von den Bibern bewirkten Ueberschwemmungen (S. 831); wir führten auch an, dass durch tierische Ueberreste und Ausscheidungen der Schichtenbau mächtig beeinflusst werden könne (S. 687 ff.). Auch der den Krebsen (S. 648) und Rankenfüssern (S. 600) zugeteilten Rolle geschah Erwähnung. Gewisse tierische Leistungen jedoch, durch welche unmittelbar das Aussehen der Erdoberfläche auf grösserem oder kleinerem Raume verändert wird, können erst jetzt der Betrachtung unterzogen werden.

a) Die Thätigkeit der Würmer. Aus Ch. Darwins grundlegendem Werke [929] über dieses morphologische Moment hat H. Reichenbach [930] einen übersicht-

lichen Auszug veranstaltet; auch O. Schmidt [931] erörtert diese, insbesondere von den Regenwürmern, mit grösster Energie geübte Umsetzung der oberflächlichen Erdschichten. Die Muskelkraft dieser Tiere ist eine ganz ausserordentliche. In feuchten Ländern, beispielsweise in England, geht im Laufe eines Jahres eine Masse von mehr denn 1000 kg Erde durch den sich unaufhörlich windenden Körper eines solchen Tieres hindurch, und da die alten Wurmröhren stetig in sich zerfallen, während neue sich bilden, so sind die oberen Schichten der Ackererde in niemals rastender Umbildung begriffen; bisher unberührte Lagen werden der Einwirkung der Humus- und Kohlensäure im Boden ausgesetzt, und die Zersetzung der Ackerkrume (S. 873) wird wesentlich befördert. Die Würmer pflügen das Land mit grösster Regelmässigkeit um, und auch bei der Zerkleinerung der Gesteinsfragmente leisten sie ihre Hilfe, am meisten innerhalb der Tropenregion.

b) Die Thätigkeit der Termiten. „Ameisen sind", bemerkt Supan [932], „die eifrigsten Helfershelfer der Regenwürmer." Allerdings muss hier ein Unterschied gemacht werden zwischen den Leistungen der eigentlichen Ameisen und denen der sogenannten Termiten, welche nur unzutreffend weisse Ameisen heissen und in Wirklichkeit nicht zu den Hautflüglern, sondern zu den Geradflüglern gehören. Wie stark die Termitenbauten die landschaftliche Physiognomie Zentralafrikas beeinflussen, wurde bereits von Serpa Pinto hervorgehoben [933], und C. Keller fand [934] (vgl. Fig. 219) 4 bis 6 m hohe Erdsäulen solcher Abkunft auf, die sich wie Erdpyramiden (S. 885) auszunehmen scheinen. Besonders gründliche Belehrung über die morphologische Arbeit dieser Insekten gab Lenz [935]. Zunächst ist dieselbe mit derjenigen der Würmer (s. o.) nächst verwandt; allein da die Termiten-Arbeiter zu ihrem Schutze röhrenförmige Kanäle aus Erde erbauen, die oft bis zu den höchsten Baumgipfeln hinaufreichen, und da die zur Aufführung von Vorratskammern und Brutstätten erforderliche Erdbewegung eine noch beträchtlichere ist, so entstehen jene gewaltigen Hügel von einigen Tonnen Kubikinhalt, deren sich, wenn sie leer geworden sind, der Neger gelegentlich als Backöfen bedient. Auf hochgelegenen Plateaulandschaften entwickelt sich die Termiten-Architektur am grossartigsten, und zwar gilt dies am meisten für das Gelände zwischen Tanganjika- und Nyassa-See. Wenn der dürre Laterit (S. 883) zur ertragsfähigen Erdart werden kann, verdankt man das in erster Linie der niederen Tierwelt, und auch äusserlich helfen die Pilz- und Spitzenbauten der Termiten den Charakter der Landschaft umgestalten [936]. „Auch die Thätigkeit der Milliarden von Termiten bildet ein lehrreiches Beispiel dafür, wie aus der Summierung zahlreicher kleiner Kraftäusserungen ein ganz bedeutender Endeffekt hervorgebracht werden kann, ein Effekt, der in diesem Falle sowohl von kulturtechnischer, als auch von geologisch-geographischer Bedeutung ist." Es ist dieselbe Summation ungemein zahlreicher, an sich unmessbar kleiner Einzelleistungen, welche zu bewerkstelligen die Natur nicht aufhört, und welche zu kontrollieren nach Heim [937] die eigentliche Aufgabe des Geologen ist.

Fig. 219.

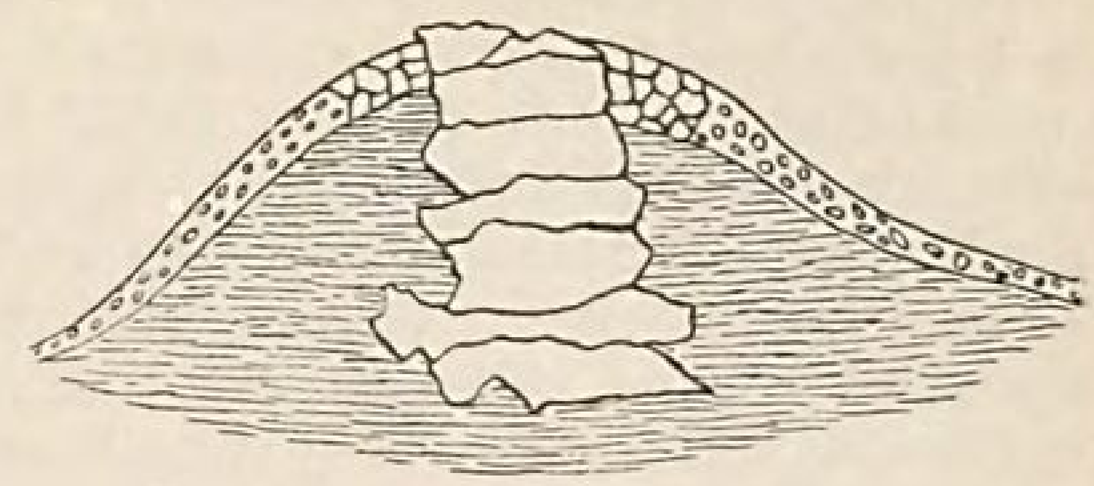


c) Die Thätigkeit der Ameisen. In viel bescheidenerem Masse wirken auch die echten Ameisen bei der bezeichneten Aktion mit. In die Steinwüste der Unionsterritorien an der mexikanischen Grenze bringt, Davis' [938] ansprechender Beschreibung zufolge, nur die landbauende Ameise („Farmer Ant") einiges Leben. Jede „Farm" stellt sich dar als eine glatte, $1^1/_2$ bis 12 m im Durchmesser haltende Ovalfläche mit einem Grasgürtel; im Mittelpunkte führt eine Oeffnung zu der im Boden eingegrabenen Wohnstätte, und gebahnte Wege verbinden letztere („Home") mit der Aussenwelt jenseits der Grasschranke. Letztere liefert das Futter, wie denn die von H. Möller [939] näher untersuchten blattschneidenden Ameisen sogar vor der Anlegung eigener Pilzgärten nicht zurückschrecken.

d) Muschelbauten. In Colorado untersuchten [940] Gilbert und Gulliver, in Kanada Bell die sonderbaren Hügel, welche die Umwohner „Tepee Buttes" nennen, und die sich, zumeist gesellig, auf schwach elliptischer Basis bis zu sehr verschiedener Höhe erheben. Im Inneren findet sich (vgl. Fig. 220) eine aus einzelnen Platten zusammengesetzte Achse aus Calciumkarbonat; darin eingeschlossene

Fossilien sind marinen Ursprunges. Man glaubte zuerst kalkige Konkretionen oder petrifizierte Springquellen vor sich zu haben, aber die Fülle von Muschelschalen legte eine andere Provenienz nahe. Vom rezenten Genus Lucina ist bekannt, dass seine Angehörigen Kolonien bilden und sich in Sand oder Schlamm einbohren. Auf eine Art von Symbiose begründete Ansiedelungen der paläontologischen Lucina dürften noch am ersten als Ursache dieser sonst unerklärlichen Erdaufwürfe angesprochen werden.

Fig. 220.



e) Tierschliffe. Wenn Kühe und Schafe sich an Felsen reiben, so entstehen glatte Flächen, die der Unkundige, wenigstens am Handstücke, leicht mit Gletscherschliffen (s. u. in §. 24) verwechselt [941]. Da sie aber, wie v. Boehm [942] nachweist, stark mit Fett imprägniert zu sein pflegen, so ist ein einfaches Mittel zur Unterscheidung gegeben.

§. 21. **Geologische Landschaftsbilder.** Schon bei früherer Veranlassung wurde es vorteilhaft befunden [943], als geologische oder geophysikalische Landschaften gewisse Terrainformen einheitlich zu besprechen, die sich durch gewisse gemeinsame Züge und typische Kennzeichen von anderen unverkennbar abheben. Penck hat es in seiner „Morphologie" teilweise ähnlich gehalten. Es kann dabei nicht vermieden werden, dass einzelne der bereits in den vorhergehenden Paragraphen abgehandelten Materien aufs neue zur Sprache kommen; damals aber dienten die bezüglichen theoretischen Lehren und praktischen Hinweise hauptsächlich dazu, die Richtigkeit allgemeiner Sätze zu erhärten, und nunmehr sind diese erklärenden Naturschilderungen zum Selbstzwecke geworden.

Es werden hier drei Typen unterschieden, deren regionales Auftreten durch zwei Umstände bedingt erscheint: durch Bodenbeschaffenheit und durch Klima. Besondere Untersuchung muss festzustellen suchen, welcher dieser beiden Faktoren im gegebenen Falle der massgebendere ist. Fürs erste studieren wir die Besonderheit jener Bodenform, für welche die Erdkunde die beiden — nur graduell verschiedenen — Bezeichnungen Steppen und Wüsten kennt; nächstdem wird der sogenannte Karstboden mit seinen überall auf dem Erdenrunde gleichbleibenden Eigenschaften der Erörterung unterstellt; zuletzt endlich wird sich zeigen, dass jeder Landstrich, über den vorzeiten einmal ein Gletscher hinwegging, durch gewisse Besonderheiten gekennzeichnet ist, deren Gesamtheit eben die Moränenlandschaft zu dem macht, als was wir sie kennen.

§. 22. **Die Steppen- und Wüstenlandschaft.** Einen Versuch zur systematischen Behandlung der hieher gehörigen Fragen machte Kant [944]; leider liegen nur fragmentarische Andeutungen vor. Sehr viel Aufsehen machte Humboldts Essay [945], an den Peschel [946] späterhin anknüpfte. Umfassender suchte H. J. Klein [947] die physikalischen Bedingungen der Steppen- und Wüstenbildung klarzulegen. Das Vierteljahrhundert, welches zwischen dieser Arbeit und der Gegenwart liegt, musste selbstverständlich unser thatsächliches Wissen von dieser eigenartigen Bodenbeschaffenheit erheblich bereichern.

Penck versteht [948] unter Steppe generell trockenes Grasland; in Nordamerika nennt man sie Prairien (S. 770) oder auch, in den südlichen Unionsstaaten, Savannen (span. sabána = Steppe), im nördlichen Südamerika Llanos, in Argentinien Pampas, in Ungarn Pussten, im Ufergebiete des Nördlichen Eismeeres Tundren (S. 783). Kurze Vegetationsperioden

wechseln mit länger dauernden Trockenperioden ab. Der Umstand, dass überhaupt Pflanzenwuchs vorhanden ist, unterscheidet die Steppe von der Wüste (désert, desert, deserto; von deserere, lat. = verlassen); ausserdem gibt es aber auch, wenn wir v. Richthofen [949] folgen, einen geophysikalischen Gegensatz. „Wüsten sind die Regionen äolischer Abräumung und äolischer Aufbereitung mit Zurücklassug des Gröberen; sie stehen dadurch im Gegensatze zu den Steppen, welche die Hauptgebiete der feinerdigen äolischen Ablagerung sind." Natürlich führen Abstufungen aller Art vom vegetationsarmen Gelände, der mageren Steppe, zur eigentlichen Wüste hinüber, wie Ratzel [950] am Beispiele der Vereinigten Staaten darlegt. Auf die Prairieregion folgt gegen Westen eine Meridionalzone der Halbwüsten (Nevada, Wyoming, Texas, Neu-Mexiko, Indianer-Reservationen); noch immer gibt es, wie R. Schlagintweits [951] Beschreibung ersehen lässt, feucht-sumpfige Senken („Swale", „Slough"), und in Erosionsthälern auch Wald („Bluffs", die Abhänge der „Bottoms"). Aber mehr und mehr weicht der Wiesencharakter dem Charakter, den man auch im australischen Busch („Skrub") konstatiert, und zuletzt bleibt nur die eigentliche Wüste übrig. Prairiebrände, in Amerika und Afrika gleich häufige Ereignisse, tragen redlich dazu bei, auch gut bewachsene Steppen wüstenähnlich zu machen. — Für die Waldlosigkeit der westlichen Staaten und Territorien der Union will Woeikow [952] den Mangel einer dichteren Schneedecke (Abt. V, Kap. VII, §. 4) verantwortlich machen. Jedenfalls aber ist auch die Lufttrockenheit hier, wie allenthalben im subtropischen Gebiete (Südrussland, La Plata-Staaten), ein wirkungsvoller Faktor; Duttons Untersuchungen über die klimatische Voraussetzung der Cañonbildung (S. 907) machten einleuchtend [953], dass die vom Stillen Ozean aus den Kontinent überwehenden Nordwest- und Westwinde beim Passieren zweier hohen Gebirgsmauern alle mitgebrachte Feuchtigkeit einbüssen und als ganz trockene Luftströmungen auf dem kritischen Gebiete anlangen. Ein Mittelding zwischen Grassteppe und Halbwüste sind [954] die von Wheeler und Loew besuchten Llanos Estacados im nordwestlichen Texas.

Inwieweit zwischen Steppe und Heide ein Unterschied zu machen sei, ist noch eine offene Frage. Humboldt erkennt solchen nicht an [955]; „im nördlichen Europa kann man die Heideländer, welche, von einem einzigen, alles verdrängenden Pflanzenzuge bedeckt, von der Spitze von Jütland sich bis an den Ausfluss der Schelde erstrecken, als wahre Steppen betrachten." Speziell für die Lüneburger Heide dürfte das aber kaum gelten, denn sie ist nach P. Engelhardt [956] durchaus nicht ein flaches, mit dürftigem Heidekraute bestandenes Sandmeer, sondern besitzt ein sehr wechselndes Relief mit Bächen, Wiesen und Wäldern und entbehrt sogar nicht ganz und gar landschaftlicher Reize. Auch die oberbayerischen Heiden, die C. Gruber [957] (vgl. S. 785) als Bestandteile der Moränenlandschaft (§ 24) charakterisiert, sind keine wahren Steppen. — Die Entstehung des russischen Steppenbodens ist, wie Woeikows [958] Referat zeigt, auch für die russischen Forscher, Krasnow, Tanfiljew, Bogdanow u. s. w., noch keine völlig geklärte Sache, und Tanfiljew speziell, der das Zurückweichen des Waldes vor dem Steppenklima genau erkundet hat [959], stellt folgenden Gegensatz fest: Die Heide ist schlechtweg durch einen armen Boden bestimmt, wogegen für den Steppenboden dessen Reichtum an Salzen bezeichnend ist. Allerdings ist dieses Salz schon stark ausgelaugt, und der Ausdruck Salzgefilde ist, wie auch aus Krauses [960] Darlegungen erhellt, nur ein relativ berechtigter.

In der Hauptsache nähern sich die westeuropäische und russische Steppenforschung einander in ihren Anschauungen mehr und mehr. Die erstgenannte hatte, wesentlich unter dem Einflusse Nehrings und seines bedeutenden Buches [961] über diesen Gegenstand, das klimatische Element in den Vordergrund gestellt; russischerseits war die Steppenbildung anfänglich mehr als eine Frage der Bodenkunde (S. 875) aufgefasst worden. Neuerdings dringt die Ueberzeugung durch, dass beide Bedingungen erfüllt sein müssen, wenn ein Teil der Landoberfläche zur Steppe werden soll, dass aber allerdings ein trockenes — subtropisches — Klima den Prozess der Steppenbildung mächtig fördert.

Es war wiederum Nehring, der durch paläontologische Befunde [962] zu der Ansicht geführt ward, dass nach dem Schwinden der letzten grossen europäischen Vergletscherung ein trockenes Steppenklima längere Zeit den grössten Teil unseres Erdteiles beherrschte; die klimatische Aenderung mochte eben an dem Schmelzen der Eismassen grossenteils schuld sein. Zwischen den Tierüberresten im postglazialen Deutschland und den für die Steppenregionen des europäischen und asiatischen Russland ausschlaggebenden Tieren ergab sich eine grosse Analogie [963]. Steppenziesel, Pferdespringer, Steppenhamster, Pfeifhasen, Saiga-Antilopen u. dergl. gab es in der späteren Quartärzeit in unseren Gegenden, und es ist folglich Nehrings Hypothese, dass eben diese damals unter der Herrschaft eines strengen Steppenklimas standen und ganz unverhältnismässig trockener denn heute waren, sehr wahrscheinlich geworden. Dagegen, dass aus der Anwesenheit dieser Tiere auf ehemaligen stärkeren Salzgehalt unseres Bodens geschlossen werden dürfe, glaubt Nehring [964] Protest einlegen zu sollen. Noch nicht völlig gesichert, aber doch recht plausibel gemacht ist, freilich gegen die übrigens sehr beachtenswerten Einwände von Jentzsch [965], die sonstige physische Beschaffenheit des versteppten Mitteleuropa als einer Lösslandschaft (S. 674) im Sinne v. Richthofens.

Echte Wüsten sind als Potenzierung des Steppenlandes in solchen Ländern zu erachten, deren meteorische Befeuchtung eine überaus geringe ist. Erdgegenden, die ganz ohne Niederschläge wären, gibt es freilich (s. Abteil. V, Kap. VIII, §. 6) nirgends auf der ganzen Erde, aber allerdings kann man Gebiete nachweisen, in denen oft erst nach Umfluss mehrerer Jahre ein — dann meist wolkenbruchartiger — Regenguss vorkommt. Die Oberflächenbeschaffenheit hat hier geringeren Einfluss; man unterscheidet Sand-, Stein-, Kies-, Lehm- und Salzwüsten, für deren Eigentümlichkeiten die arabische Sprache prägnante Ausdrücke gebildet hat.

Von neueren Autoren hat Desor, ein Mitglied der zur Aufsuchung der „Heimat" des Föhnwindes nach Afrika abgegangenen Expedition (S. 208 ff.), die Wüste in ihren Beziehungen zum Menschen übersichtlich geschildert [966]. Die wichtigsten Punkte werden bei Neumayr-Uhlig [967] gut hervorgehoben. Grossen Nutzen brachte die vortreffliche Monographie Schirmers [968] über die grosse afrikanische Wüste, während deren östlichen Teil Rohlfs, W. Jordan und v. Zittel durchforschten [969]. Für die südafrikanischen Wüstenterritorien liegt Reiters [970] litterarische Bearbeitung zahlreicher Beobachtungen vor.

Ein ungeheurer Wüstenzug schlingt sich, vom atlantischen Westufer Afrikas ausgehend, durch die Alte Welt hindurch, indem lediglich Europa so gut wie ganz wüstenfrei bleibt. Man müsste höchstens die „französische Sahara", die Landschaft Crau in der Provence, hierher rechnen wollen, welcher Berndt [971] eine fleissige Studie gewidmet hat, nachdem zuerst Martins [972] die Aufmerksamkeit der Naturforscher auf diesen wenig anmutenden Fleck Erde gelenkt hatte. Bedeckt mit Steingerölle, hatte derselbe schon im Altertum den Namen „Steinfeld" (campus lapideus), und die antike Mythologie verlegte die Thaten des Herkules teilweise an diesen Ort. Zumal der kalte Fallwind Mistral (S. 212) hatte die Sterilität der Crau verschuldet, aber in neuester Zeit ist grossen Partien derselben der Charakter einer Steinwüste durch künstliche Hineinleitung Schlamm-führender Gewässer genommen worden. — Etwa zwei (westliche) Drittel des nordafrikanischen Wüstenterritoriums entfallen auf die Sahara; das östliche Drittel entfällt auf die Libysche Wüste und den Landstreifen zwischen Nilthal und Rotem Meere. Es schliesst sich die den grössten Teil der Halbinsel einnehmende und sowohl die Sinaitische Halbinsel wie auch Ostsyrien als Vorposten aussendende Arabische Wüste an; das Iranische Wüstenplateau umfasst weite Landstriche im eigentlichen Persien, in Afghanistan und Beludschistan (Gedrosische Wüste der Griechen, aus dem Zuge Alexanders erinnerlich). Von Turan aus erstreckt sich endlich ein Wüstengürtel weit nach Osten, im westlichen Abschnitte unter dem Namen Hanhai (S. 855), im östlichen unter dem Namen Gobi (und Schamo) bekannt. Der Gobi allerdings möchten manche neuere Reisende mehr einen Steppencharakter zusprechen. — Isoliert liegt in Nordwestindien die Wüste Tharr, erfüllt von Flugsandhügeln; ebenso ist auch die südafrikanische Wüste Kalahari

(oder Kalahara), die Grenze zwischen subtropischem und gemässigtem Gürtel markierend, ohne Zusammenhang mit anderen Wüstengebieten. — Australiens Inneres ist (vgl. S. 781) fast nichts als Wüste; dies haben die Entdeckungsreisen eines Leichhardt, Giles, Lindsay u. a. nur allzu sicher festgestellt, wie denn des letztgenannten kühner, sogar durch die Mitnahme des „Schiffes der Wüste" unterstützter Vorstoss ins zentrale Westaustralien am absoluten Wassermangel scheiterte [973]. — In Nordamerika ist das „Grosse Bassin" zwischen Sierra Nevada und Rocky Mountains reine Wüste gewesen, ehe der Mensch die bessernde Hand anlegte, und die Gila-, Mohave- und Altkalifornische Wüste gehören gleichfalls dem Typus der Steinwüste an, der sich bis tief in die mexikanische Provinz Sonora hinein verfolgen lässt. Diese bunte, d. h. durch merkwürdige Farbenerscheinungen ausgezeichnete Wüste schilderte vom Rath [974] mit bekannter Anschaulichkeit. — Ebenso darf wegen der einzigen Wüste Südamerikas, Atacama, auf Philippis [975] autoptischen Bericht verwiesen werden; dass dieselbe wohl nicht entstanden wäre, wenn sich nicht gerade hier ein kalter Meeresstrom hart an die Küste herandrängte, ist weiter oben (S. 314, 507) erwähnt worden.

Der Satz (s. o.) von der Vegetationslosigkeit der Wüste ist nicht wörtlich zu nehmen. Von den Oasen und ihren Beziehungen zum Grundwasser ward bereits (S. 787) gesprochen; kommen doch sogar noch kleine, wirkliche Seen vor, wie der von Schirmer [976] abgebildete Oued Seggeur. So ist denn vielfach Gelegenheit zu einiger Pflanzenansiedelung gegeben, und von Sériziat [977], Volkens [978], Drude [979], Schirmer [980] u. a. ist besonders die afrikanische Wüstenflora beschrieben worden; E. Roth [981] referierte über die bezüglichen Arbeiten, zumal von Volkens. Gewöhnlich stehen immer dieselben Arten bei einander, einen festen Bestand bildend, während in der Wüste eine vollständige Durcheinanderwürfelung der verschiedensten Arten zu konstatieren ist. Dürre, holzige und dornenreiche Gewächse wiegen vor, aber der seltene Regen vermag einen Blütenteppich hervorzuzaubern. Gerbstoff, nach Warming (I, S. 39) einen gewissen Schutz gegen Austrocknung gewährend, kommt in den Wüstenpflanzen häufig vor. Man kann ferner vielfach [982] eine Anpassung der auch anderweit auftretenden Vegetation an die Wüstenverhältnisse wahrnehmen.

Wir wenden uns nunmehr einer kurzen Charakteristik der Normaltypen zu, welche wir vorhin als vorhanden kennen gelernt haben.

a) Sandwüste. Diese Form ist zwar eine weit verbreitete, aber nicht einmal die dem Areale nach vorherrschende. Sanddünen bestimmen den landschaftlichen Eindruck der Aregregion (so genannt nach der arabischen Bezeichnung [983]). Die Dünenhügel, die ebenso, wie ihre litoralen Genossen (S. 615 ff.), die Tendenz zum Wandern in sich tragen, schwellen in der Libyschen Wüste zu wahren Sandgebirgen an, und hier ist denn auch pflanzliches und tierisches Leben so gut wie ganz erloschen. Die Mitteilungen v. Zittels [984] und Rollands [985] gewähren über diese Formation beste Belehrung. Durchzogen wird die Sandwüste von zahlreichen, durch Erosion entstandenen Trockenthälern, die der Araber Wadi (franz. Oued; s. o.) nennt; die Flussnamen Quadiana und Quadalquivir weisen auf die arabische Herkunft hin. Ohne die Unmöglichkeit einer kürzeren Längsthalbildung durch Deflation (S. 890) gänzlich leugnen zu wollen, wie sie Walther [986] postuliert, müssen wir doch mit Rolland (s. o.) die Mehrzahl der Wadis (Wadi Suf, Wadi Rir, Wadi Draa, Wadi Nun u. s. w.) als Reste von ausgedehnten, unter anderen klimatischen Verhältnissen entstandenen Längsthälern ansehen. Seitdem ist es allerdings der Wind fast ganz allein, welcher (vgl. S. 891) die Morphologie der Wüste, und zwar speziell der Sandwüste, regelt.

b) Kies- und Lehmwüste. Je nachdem Gesteinszusammensetzung und Klima den Zerfall und die lehmige Zersetzung der Felsen begünstigen, nimmt die Wüstenregion diese beiden Oberflächenformen an. Die Lehmwüste wird, da nach v. Richthofen [987] ein gewisses Mass von Luftfeuchtigkeit für diese Art der Verwitterung unerlässlich ist, mehr an den Rändern der Wüstengebiete zu suchen sein.

c) Steinwüste. Weite Gegenden werden von steil aufragendem, zu ziemlicher Höhe aufsteigendem Gebirge eingenommen; das ist die Hammada der Araber. Die Hammada-el-Homra, das „Rote Plateau", ist 600 km lang, 200 km breit, 500 bis 600 m hoch [988]. Auch die „Bad-Lands" von Dakotah, nach Davis [989] so genannt, weil die Zerrissenheit der Plateaux das Reisen sehr

erschwert, sind eine Steinwüste. In den westlichen amerikanischen Wüsten ragen einzelne Restberge als Zeugen hervor (S. 891), und zwar in diesem Falle als Zeugen gewaltiger Denudationsarbeit; man nennt sie [990] Mesas (vgl. die Nachweisungen S. 891), während der südamerikanische Neuspanier nach Sievers [991] mit dem nämlichen Namen Schotterterrassen [992] belegt, die stellenweise (s. u. in §. 24) auf glazialen Ursprung schliessen lassen.

d) Salzwüste. Dass nicht alle Salzsteppen und Salzwüsten ehemaliger Meeresgrund sind, wurde (S. 770) bestimmt hervorgehoben; dass es nicht selten sich so verhält, haben Pošepny [993] und Müntz [994] nachgewiesen, aber auch die schon früher geltend gemachten Gegengründe, welche insonderheit Tietze [995] zusammenfasst, erheischen Berücksichtigung. In Sand- und Steinwüsten bilden Salzwüsten nicht selten Einlagerungen. Während z. B. die nördliche Kalahari, dem genannten Gewährsmanne [996] zufolge, rein sandig ist, wenig Salztümpel aufweist und den bedeutendsten derselben, den Ngami-See, durch Aussüssung verlieren zu wollen scheint, ist der Süden überreich an flachen Mulden (Flats) mit Braakpans (Salzwasserpfannen) oder Salzsümpfen. Dass man auch in der Sahara manchenorts Salz gewinnt [997], war schon dem alten Herodot bekannt [998]. Vor allem breiten sich an der algerisch-tunisischen Grenze weite Salzsümpfe oder Schotts aus (wohl auch Sebchas geheissen). Schott Melrhir und Schott el Djerid sind am bekanntesten [999]. Die Oberfläche dieser flachen Becken ist mit einer dünnen Salzkruste bedeckt, welche Nachtigal [1000] mit einer Eisdecke vergleicht. H. Saussures Messung [1001] ergab für die Oberfläche der Schotts eine Tiefe von 20 m unter dem Spiegel des Mittelmeeres; trockene Flussläufe sah er allseitig gegen die Depression konvergieren und durch Gewitter schnell zu Giessbächen anschwellen, die aber ebenso rasch verdunsten und Salz zurücklassen, wie denn auch im Wasser der benachbarten artesischen Brunnen (S. 801) viele Salze enthalten sind. Hier war es, wo Roudaire [1002], vom General Chanzy patronisiert, seinen phantastischen Plan verwirklichen wollte, das Meer in die Sahara-Depression hineinzuleiten und einen grossen Teil der Wüste zu überschwemmen. Von Martins-Desor und Zenker wurde das Illusorische des Projektes dargethan [1003], indem erstens die zu durchstechende Landenge nicht aus Wüstensand, sondern aus Gestein besteht, und indem zweitens die Dattelkultur gar nicht die erhofften Vorteile aus der Ueberwässerung ziehen würde. Hierüber, sowie über die gleichfalls gegen Roudaire gerichteten Bemerkungen von Rouire und Pomel, sind auch die an Vouillot anknüpfenden Nachweisungen von Staudinger, welche der Opposition recht geben, zu vergleichen [1004]. — Ueber australische Salzwüsten gibt der neueste geologische Reisebericht [1005] die nötigen Aufschlüsse.

Wir überzeugen uns so, dass die verschiedenen Wüstenformen wesentlich davon abhängig sind, ob sich mit dem die erste Voraussetzung darstellenden Wüstenklima gewisse physikalische und chemische Eigenschaften der obersten Bodenschichten zusammenfinden. Wenn sich das Klima ändert, so kann die „Verwüstung“ des Landes vorwärtsschreiten oder sich zurückziehen. Zwar ist durch die Rohlfs-Zittelsche Expedition festgestellt worden, dass seit Ende der Kreidezeit die afrikanische Wüste nicht mehr vom Meere bedeckt gewesen ist, aber damit ist die Frage noch nicht entschieden, ob nicht in neuerer, d. h. altgeschichtlicher Zeit der Prozess der Wüstenbildung in Nordafrika Fortschritte gemacht habe. Wie wir hörten (S. 323), hat Th. Fischer [1006] sich dieser Annahme günstig gezeigt, J. Partsch [1007] dagegen einer ablehnenden Ansicht Ausdruck verliehen.

Als eine Art lokalisierter Wüste muss die kontinentale Dünenlandschaft gelten; zum Teile bildet dieselbe die Randgebiete wirklicher Wüsten, und zum Teile begegnet man ihr in Ländern, die sonst alles eher denn Wüsten sind. Wirkliche Dünen, bis zu 24 m Höhe sich erhebend, und die kennzeichnenden Böschungen auf Luv- und Leeseite aufweisend, trafen Chelius und Penck [1008] in der Umgegend von Mannheim und Schwetzingen an; Goetz [1009] erwähnt einer aus

Flugsand gebildeten Dünenkette in der Nähe Nürnbergs. Systematisch hat, neben den Meeresdünen, die Sandanhäufungen des Binnenlandes der Russe Sokolow behandelt, und über dessen Werk [1010] referierte ausführlich Stahlberg [1011]. Trockenes Klima ist natürlich besonders erforderlich, wenn sich Inlanddünen bilden sollen; im allgemeinen sind auch sie zur Fortbewegung geneigt, doch gibt es auch Zerstörungsdünen, wo einfach eine Felshöhe mit einem dünnen Sandmantel bedeckt ist, und diesen eignet dann Stabilität. Auch die Windrippelmarken (vgl. S. 626) werden unter neuen Gesichtspunkten studiert. Bezüglich der afrikanischen Dünenbildungen sei noch auf die Arbeiten von Rolland [1012] und Blanc [1013], bezüglich der innerasiatischen sei auf die Arbeiten v. Middendorffs [1014] und Muschketows [1015] hingewiesen. Hier, zumal in Turkestan, sind die Dünen unter dem Namen Barchane, in der amerikanischen Pampasregion sind sie unter dem Namen Médanos bekannt [1016]. Penck bemerkt [1017], dass A. Kirchers [1018] Meinung, alle Dünenlandschaften seien die Folge dereinstiger Meeresbedeckung, lange bestehen blieb, bis zumal (s. o.) v. Zittel und Rolland die Thatsache feststellten, dass es wahrhafte Kontinentaldünen gibt.

§. 23. **Die Karstlandschaft.** Des öfteren ward in diesem Kapitel, wie auch im nächstvorhergehenden, der Karsterscheinungen gedacht, ohne dass eine genauere Definition dieses Wortes möglich gewesen wäre. Nunmehr versuchen wir das notgedrungen Versäumte nachzuholen. In erster Linie ist daran zu erinnern, dass diese Bildung ausschliesslich an Kalk gebunden ist; er bestimmt die Physiognomie, die Facies (S. 677) der Landschaft. „Diese ausgesprochene Kalkfacies,“ sagt E. Fraas [1019], „gibt dem Karste sein eigentümliches, landschaftliches Gepräge, indem die reinen, nahezu ungeschichteten Kalke von den Gewässern in grossartigen Dolinen, Höhlen und unterirdischen Flussläufen ausgewaschen werden und so zu den grossartigsten Erosionserscheinungen geführt haben, welche wir in Europa kennen.“ Die karstbildenden Einzelheiten haben wir sämtlich schon mehr oder minder genau kennen gelernt; aber als Komplex verschiedener charakteristischer Typen ist die Karstlandschaft erst jetzt der Erörterung zugänglich geworden.

Wie sehr die physisch-geographische Denk- und Anschauungsweise von Altertum und Mittelalter durch den Umstand beeinflusst, um nicht zu sagen beherrscht war, dass gerade die Mittelmeerländer grossenteils der Karstregion angehören, haben Neumann-Partsch [1020] und Kretschmer [1021] sehr deutlich auseinandergesetzt. Aber erst in neuester Zeit haben die österreichischen Geologen die theoretische Seite der Sache ernsthaft in Angriff genommen; wir werden auf ihre Untersuchungen weiter unten einzugehen haben. Eine wertvolle Spezialstudie von Cvijić [1022] und die umfassende Darstellung Pencks [1023] gewähren die Möglichkeit, die Lehre vom Karsttypus systematisch abzuhandeln.

Was die Geographie der Karstphänomene betrifft, so stammt der Name ebenso wie die genaueste Kenntnis von dem klassischen Gebiete, welches als „Karst“ schlechthin (ital. carso, sloven. cras) von der Laibacher Senke aus sich durch Südostkrain, Küstenland, Istrien, Westkroatien, Dalmatien, Bosnien, Montenegro hindurchzieht und auch den grössten Teil des Königreiches Griechenland umfasst. Es sind hier durchweg triassische Schichten, welche der Verkarstung unterlagen, wie u. a. die Angaben von Philippson [1024] und Partsch [1025] bekunden. Italien besitzt gleichfalls verkarstete Gegenden; Lotti fand [1026] in quartärem Kalktuff Dolinenbildungen von beträchtlicher Tiefe auf. Nicht minder gilt dies für die Karpathen, wie zumal rumänischerseits festgestellt ward; Toula [1027] und Munteanu-Murgoci [1028] konnten nach dieser Seite hin interessante Feststellungen machen. Devonisch ist das mährische Karstterritorium, über welches Makowsky [1029] und Kříž [1030] genaue Mitteilungen gemacht haben. Die Alpen verraten nur gelegentlich — nach

F. Kraus [1031] u. a. im Dachsteinplateau und Toten Gebirge der österreichisch-steirischen Grenze — den Eingriff des Verkarstungsprozesses, aber im Jura tritt dieser Prozess um so entschiedener hervor; für das schweizerische Gebirge dieses Namens ist auf Siegfried [1032], für das schwäbische auf Regel [1033] zu verweisen, und mit dem fränkischen mussten wir uns oben (§. 15) zur Genüge beschäftigen. So ist auch das klassische Causses-Gebiet, von dessen Eigentümlichkeiten, nach Martels grundlegendem Werke [1034], von Goebeler [1035] eine ansprechende Skizze entworfen ward, wesentlich jurassisch. Das mit unterirdischer Entwässerung versehene Loyagebirge in Südspanien ist ein echtes Karstgebirge liassischer Formation [1036]. Belgien, Nordengland und Irland besitzen verkarstetes Karbon [1037], und in den Ostseeprovinzen ist nach K. Schmidt [1038] die Verkarstung an das Silur gebunden. — Aus fremden Erdteilen sei Asien wegen seiner Höhlengruppen in Borneo [1039], die Hart, und in Tongking [1040], die Mirande entdeckte, angeführt; am zweitgenannten Orte ist der Karstcharakter evident, weil ein unterirdischer Fluss, der Songnang, alle diese Höhlen durchströmt. Ebenso ist das Grottengebiet im nordamerikanischen Silur, von welchem wir durch Fruhwirth [1041] Kenntnis erhalten haben, ein Zeichen echter Verkarstung. — Endlich darf nicht übersehen werden, dass gehobener Korallenkalk oftmals Karsterscheinungen zu erkennen gibt [1042]; Krümmel konstatiert [1043] ausdrücklich, dass auf Koralleninseln das Regenwasser nirgends stehen bleibt und künstlich in Zisternen gesammelt werden muss. Sehr belehrend ist auch, was Dierks [1044] vom höhlenreichen, korallinen Kalkboden der Insel Kuba zu erzählen weiss. „Zahllos sind die Bäche und Flüsse, welche nach kurzem Oberlaufe plötzlich im Inneren der Erde verschwinden und in unbekannten Betten dahinfliessen, ohne zuweilen das Meer zu erreichen. Kuba ist ungemein wasserreich; von seinen vielen Flüssen ist jedoch nur einer, der Canto, im östlichen Teile der Insel, bei etwa 270 km Länge, auf 120 km mit flachen Booten befahrbar." — Unsere Uebersicht konnte sich nicht das Ziel stecken, alle Karstlandschaften der ganzen Erde aufzählen zu wollen; erreicht sollte lediglich werden, dass eine wichtige Erfahrungswahrheit ausser Zweifel gesetzt werde, nämlich die folgende: Die Verkarstung kommt allenthalben vor, sie ist eine generell tellurische Erscheinung und an keine geologische Formation gebunden. Am grossartigsten und für das Studium der genetischen Verhältnisse am einladendsten ist und bleibt aber der südslavische Karst, und nicht zu wundern ist, dass fast alle Kunstausdrücke der Karstgeologie dem südslavischen Idiome entnommen wurden.

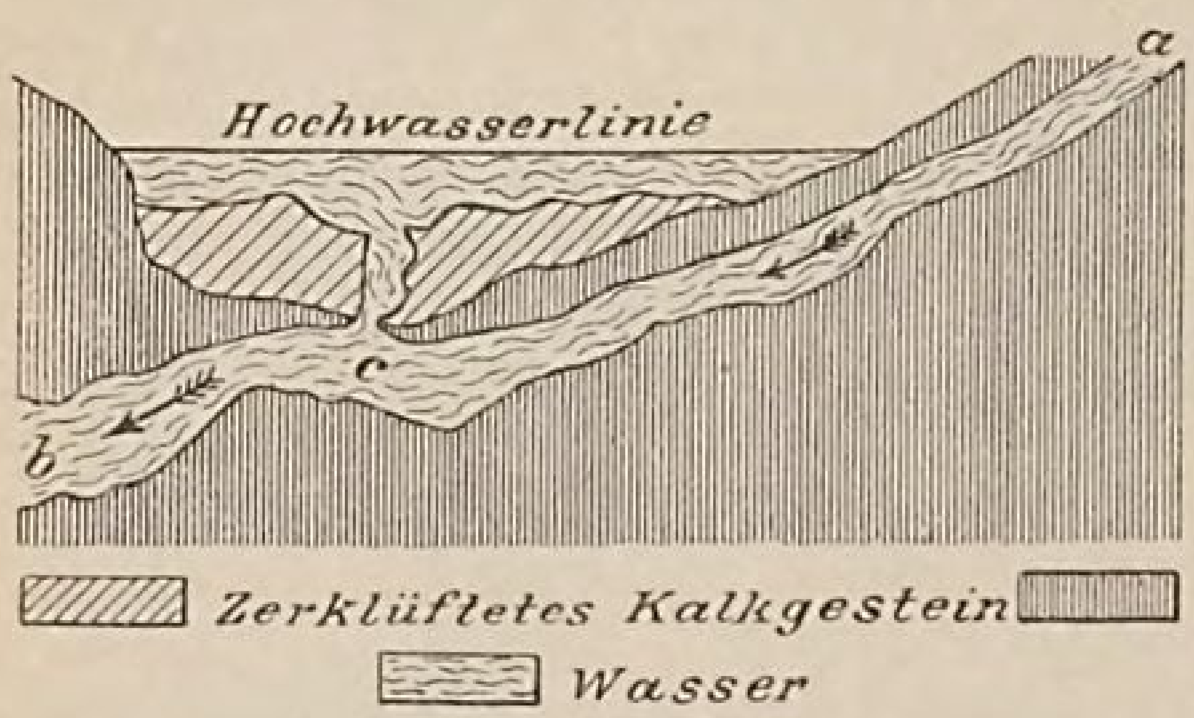
Woran erkennen wir nun einen Landstrich als wirkliche Karstlandschaft? Das Vorkommen von Höhlen allein thut es nicht; es muss eine — unterirdisch verbürgte — Aneinanderreihung verschiedener Grottenräume erkennbar sein. Die Karrenfelder, ein mehr sekundäres Vorkommnis, sind bereits (in §. 9) zu ihrem Rechte gelangt; nicht minder die gleichfalls nur gelegentlich, aber freilich nur an echten Karstküsten, wie sie Cvijić [1045] kennzeichnet, vorkommenden Meermühlen (S. 804). So bleiben uns denn wesentlich noch die nachstehend vereinigten Merkmale übrig: Die unterirdischen Wasserläufe (Karstflüsse), die anomalen Seebildungen (Saug- und Speilöcher), die Bodensenken (Dolinen und Poljen) und die eigenartigen Thäler (Karstthäler).

a) Karstflüsse. Das Eindringen des oberirdisch dahinfliessenden Wassers in die zahllos vorhandenen Spalten, Schlöte und Haarrisse des Kalkbodens kommt auch in Gegenden vor, die deshalb allein noch nicht auf den Namen Karstland Anspruch machen können, aber eine Annäherung an diesen Typus ist dann doch immer vorhanden. Lothringen besitzt z. B. nach Brocard [1046] zahlreiche subterrane Wasserläufe; in Franken verschwindet einmal, wie schon der Deutschamerikaner Schoepf [1047] wahrgenommen hatte, die jugendliche Pegnitz für eine kurze Strecke im Kalkboden [1048]. Schoepf selbst kommt darauf zu sprechen, weil ihm der Roanoke in Virginien das gleiche Bild darbot. Was hier gelegentliches Vorkommen, das ist im Karst die Regel. Von der montenegrinischen Susika sagt Hassert [1049], sie sei ein echter Karstfluss; ehedem, wie Schotterlagen beweisen, ein mutmasslich wasserreicherer Strom,

wurde sie durch den fortschreitenden Vorgang der Verkarstung stetig nach tieferen Horizonten abgelenkt. Tiefe Löcher, Ponore, in welche sich das Wasser oft in Kaskaden hinabstürzt [1050], nehmen den zeitweilig ein oberirdisches Dasein führenden Fluss auf, und als Doue (vgl. S. 804, 830) bricht er wieder ans Tageslicht hervor. Eines der merkwürdigsten Exempel dieser Art stellt uns Krain vor Augen [1051]. Die Poik stürzt sich (vgl. S. 903) bei Adelsberg in die dortige Grotte, kommt bei Planina wieder zum Vorschein und heisst jetzt Unz, wird aber bald wieder vom Felsboden verschlungen und tritt endlich, nachdem sie ziemlich lange verborgen blieb, bei Oberlaibach als Laibachfluss zu Tage, sofort mit kleineren Fahrzeugen befahrbar, um sich in die Save zu ergiessen. Erwähnung wurde bereits des Timavo (S. 830) gethan, der nicht mit der Rjeka von St. Kanzian zu identifizieren sei; Noë meldet [1052], dass es neuerdings gelungen ist, jenen Höhlenfluss, durch zwei subterrane Seen hindurch, bis zur 25. (!) Kaskade zu verfolgen, und dann scheine er spurlos im „See des Todes“ zu verschwinden. Allerdings mögen die flussartig hervorsprudelnden Quellen manchmal auch, wie Martel und Gaupillat in den „Causses“ (s. o.) ermittelten [1053], durch Ueberlaufen einer mit Wasser bis zum Rande gefüllten, im Inneren des Gesteines ausgehöhlten Mulde bedingt sein. Allen Karstgewässern ist gemeinsam ein sonst ungewöhnlicher Lehmgeschmack [1054], der von der Bekleidung der Grottenwandungen mit eisenschüssigem Höhlenlehm (S. 883) herrührt.

b) Karstseen. Viele Karstseen sind ausgezeichnet durch unregelmässigen Wasserstand; eingehend untersucht sind die Bedingungen dieser Niveauschwankungen von Kraus [1055] worden. Neben den schon genannten griechischen Seen (S. 774), betreffs deren noch die Angaben von Bursian [1056], Lindenmayer [1057] und Supan [1058] heranzuziehen wären, steht als ein von keinem anderen erreichtes einzigartiges Individuum der Zirknitzer-See (lugea palus der Römer) da, von dessen Besonderheit bereits die Alten unterrichtet waren. Der Engländer E. Brown und Baron Valvasor (I, S. 20) waren die ersten, die dem Phänomen wissenschaftliche Teilnahme entgegenbrachten [1059]; ihnen folgten Steinberg [1060], J. Gruber [1061], Urbas [1062] und manch anderer nach. Mustergültig kurz und klar entwirft Frischauf [1063] ein Bild der Ortsverhältnisse. Etwa 10 km lang, 1 bis 2 km breit, mit einer Mittel- und Maximaltiefe von resp. 6 und 8 m, vier Inselchen umschliessend, liegt der See in einem von ziemlich hohen Kalksteinwänden grossenteils umgebenen Thalkessel ohne sichtbaren Ausgang. An 40 Sauglöcher (sloven. jama, luknja, karlouza; anderwärts auch ponor, wie oben, genannt), welche sich gelegentlich in Speilöcher verwandeln, entziehen unterirdisch dem See sein Wasser, welches im Laibacher Thale die Flüsse Bistritza und Borunitza speist. Die deutlich sichtbaren, wie von grossen Stichen durchlöcherten, Höhlenfelsen Velka und Mala Karlouza (velki, gross; mali, klein) erreicht der Seespiegel nur bei hohem Wasserstande, und durch jene Oeffnungen fliesst dann ein Teil des Wassers zur Unz (s. o.) ab. Von 1834—35 lag der Seegrund ein Jahr lang trocken, so dass die etwas übertriebene Behauptung, man könne im Zirknitzer-See nach Umständen fischen, pflügen, säen, ernten und jagen, sich einmal bewahrheitete. Diese Phänomene suchte schon v. Valvasor [1064] mittelst des Heberprinzipes (S. 803) zu erklären; F. Kraus [1065] gibt die folgende einleuchtende Darstellung des Sachverhaltes. Bei a (Fig. 221) strömt das Wasser für gewöhnlich gegen b hin ab; wenn aber bei b eine Stauung stattfindet, indem der Abfluss verzögert ist, so dringt es durch die Röhre des Speiloches bei c nach oben und drückt das Seewasser vorübergehend bis zur Hochwasserlinie empor; wenn dann der Gegendruck bei b nachlässt, so fungiert c wieder als Saugloch, und das Wasser geht aus dem See in den Hauptquellstrang a b über. Nicht ein Heber-, sondern ein einfaches Saugphänomen ist also beim „Wunder“ des Zirknitzer-Sees anzunehmen; er tritt in eine Reihe mit den „Estavellen“ des Jura, denen deshalb (s. S. 802) auch mit Recht Cvijić [1066] eine Stelle unter den Karstkriterien anweist. — Die Jamas oder Ponore sind also nichts als

Fig. 221.

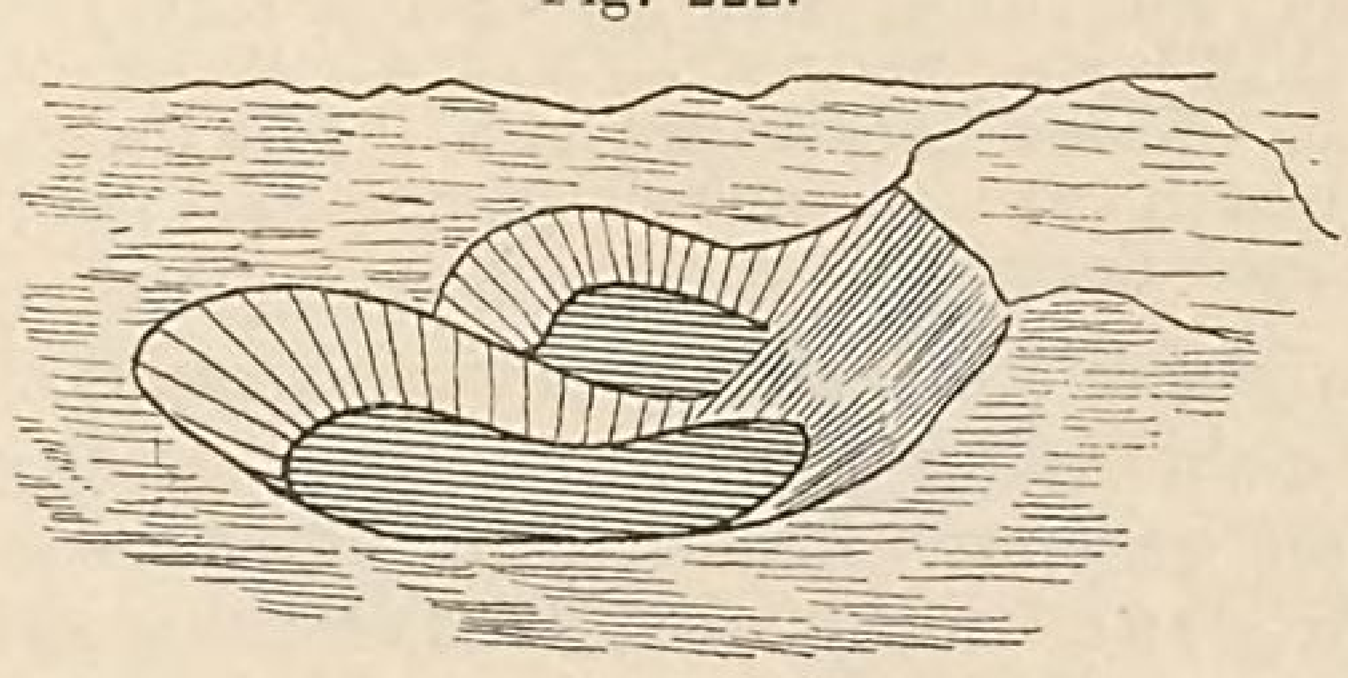


die Ausgangsöffnungen der uns bekannten Katavothren, welche (S. 774) auch Barathren, von den Epiroten aber, welche am Joannina-, Ochrida- und Laspista-See solche Beispiele genug vor Augen haben, „Verdauer" (χωνεῦτραι) genannt werden. Ein sehr bemerkenswertes Beispiel von Entwässerung einer französischen Höhle durch Katavothren hat Martel [1067] nachgewiesen. Solche unterirdische Kanäle können sich bis zum Meere fortsetzen, wie die Aufwallungen des Čepič-Sees (S. 771) und des Rothensteiner-Sees (im österreichischen Küstenlande) bekunden. Als im Jadroflusse (beim dalmatinischen Salona) die früher dort unbekannte Fischotter auftrat, erachtete es Kolombatović [1068] für wahrscheinlich, diese Tiere seien mit den vom Mosorplateau unter der Erde zur Adria abströmenden Gewässern an ihren neuen Wohnort gekommen. Cvijić zufolge [1069] ist in Serbien eine kürzere Röhre eine ocapina, ein längerer Kanal eine pecina; die Aushöhlung dieser Röhrensysteme ist natürlich das Werk des den in den tektonischen Gesteinsspalten vorgezeichneten Wegen folgenden meteorischen Wassers.

Selbstverständlich geben derartige Stauerscheinungen Anlass zu einer ganz besonderen Art von Ueberschwemmungen, einem Unterfalle der Penckschen Stauhochwässer (S. 831). Aus allen Speilöchern des Karstbodens sprudelt zurückgedämmtes Wasser empor; vorab das Laaser Thal (südöstlich von Zirknitz) und das obere Wippachthal (welches gegen den Isonzo hin ausläuft) werden nicht selten in dieser Weise heimgesucht. Kraus erläutert [1070] die Entstehung und Verhütung dieser Art vorübergehender Seebildung am Kessel von Planina, der als natürliches Sammelbecken für alle gegen die Laibacher Ebene konvergierenden, aber momentan überfüllten Wasseradern dient und unterirdisch mit anderen Thalkesseln zusammenhängt. Der Grottenolm (proteus anguineus), dieser merkwürdige, nur mit rudimentären Augen begabte Bewohner ewig dunkler Räume, wird bei diesen Gelegenheiten mitunter ans Licht gebracht [1071]. — Auch in anderen Karstgebieten kennt man solche Ueberschwemmungen. So vernehmen wir aus einem Berichte v. Eichwalds [1072] über esthnische Begebenheiten: „Die oft sehr tiefen Erdtrichter werden im Frühjahre von dem sich immer mehr ansammelnden Wasser ganz erfüllt. . . . Später bilden sich kleine Bäche, die aus dem viel höher gelegenen Landsee Karro entspringen, oft viel Wasser führen und als reissende Flüsse grosse Zerstörungen anrichten; alsdann steigt das Wasser aus den Erdtrichtern gleich einer Fontäne in die Höhe." Eine Estavellenbildung, die offenbar auch zugleich auf der Wirkungsweise des Sprungkegels (S. 466) beruht.

c) Dolinen. Als Doline (S. 701) bezeichnen Slovenen, Kroaten und Serben jede kesselartige Bodeneinsenkung mit elliptischem Querschnitte; im czechischen

Fig. 222.



Karstterrain ist nach Trampler [1073] dieser Name ungebräuchlich, und man benennt einen solchen „Erdfall" — deutscher Lokalausdruck — Závrtek (Einbohrung). Anderwärts sind, nach Cvijić' Zusammenstellung [1074], ebenfalls besondere, jedoch synonyme Benennungen im Gebrauche: entonnoir, bétoir, embue, cloup in französischen Dialekten, Sink Hole und Cockpit im Englischen, buso im Italienischen. Trotz der allgemeinen Beschreibung, die wir gaben, und die für eine gewisse Monotonie der Dolinenlandschaft spricht, existiert doch eine grosse Formenmannigfaltigkeit, mit Cvijić (s. o.) kann man schüssel-, trichter- und brunnenförmige Dolinen unterscheiden. Hie und da entstehen auch Doppeldolinen (Fig. 222). Auch die Böschungsverhältnisse variieren, und dasselbe lässt sich von der Ausfüllung der Hohlräume aussagen. Manche bergen in sich Wasser (Erdfallseen, vgl. S. 922); manche sind der Ort eifriger Bodenkultur, weil in ihnen Schutz gegen die gefürchtete Bora zu finden ist; manche weisen

nackten Stein als Wandung auf; in vielen deckt das als terra rossa (rote Erde) bekannte Zersetzungsprodukt des Kalksteines den Boden. Mit Cvijić [1075] unterscheidet man jetzt durchweg die Schwemmlanddolinen, welche sich häufig im Lehmboden der grossen Karstwannen bilden, von den echten Felsdolinen. Bezüglich letzterer sind drei Erklärungsmöglichkeiten von selber gegeben. Man kann die oberflächliche Verwitterung (S. 878) als Grund betrachten; man kann, wie Kříž [1076] als in manchen Fällen unzweifelhaft erwiesen hat, an eine Auswaschung durch das Tagewasser denken; man kann endlich Deckeneinsturz für die Bildung der Bodensenken verantwortlich machen. Für letztere Auffassung trat von je mit besonderem Eifer F. Kraus [1077] ein, und wenn es gelingt, nach Massgabe von Fig. 223, am Boden einer Einsturzhöhle oder in einem unterirdischen Gange die Trümmerhaufen ausfindig zu machen, so ist diese Deutung des Vorganges gewiss gerechtfertigt. Höhlenbildung durch Auslaugung und Dolinenbildung durch Zusammenbruch sind alsdann koordinierte Vorkommnisse. Dass es so entstandene Dolinen gibt, räumt Neumayr [1078] ein, doch schränkt er ihre Anzahl ebenfalls ein und kommt zu dem Schlusse: „In Wirklichkeit sind es nicht so sehr Einstürze, als vielmehr die Wirkungen der oberflächlichen Erosion, die unter den besonderen Verhältnissen der Karstgebiete die echten Dolinen hervorrufen.“ Hiemit stimmt im wesentlichen auch Cvijić überein, der auf Grund eingehender Prüfung der verschiedenen Meinungen zu einer neuen Tafel [1079] morphologisch-genetischer Dolinentypen gelangt.

Fig. 223.



d) Poljen. „Ein Polje ist eine grosse, flache, breitsohlige Karstwanne, deren Gehänge sich scharf gegenüber der Sohle absetzen, und welche eine ausgeprägte, mit Schichtstreichen parallele Längserstreckung zeigt“ [1080]. Die Poljen werden besonders häufig (s. o.) inundiert. Man trennt nach Cvijić [1081] tektonische Poljen, Abriegelungspoljen, die halb tektonischen, halb erosiven Ursprunges sind, und Aufbruchspoljen. Letztere würden Longitudinalthäler geworden sein, hätte nicht die Karstnatur die das Korrasionswerk besorgenden Gewässer zu vorzeitigem Hinabtreten unter die Oberfläche gezwungen.

e) Anderweite Karstthäler. Der wahre Karst entbehrt der eigentlichen Längsthäler. Am unteren Ende der verkarsteten Plateaux begegnet man zirkusartig (S. 879) abgeschlossenen Sackthälern; den höheren Regionen gehören die blinden Thäler an. Ein blindes Thal hat einen unteren Thalschluss und unterirdischen Ausgang [1082]; ein Ponor (s. o.) lässt das Wasser abströmen. Penck rechnet [1083] zu den blinden Karstthälern u. a. die Yailahs im kleinasiatischen Lykien und die in eine Ruphista endigenden, von Partsch [1084] beschriebenen Thalschluchten der Insel Korfu.

Nachdem wir somit in zunächst morphographischer, das kausale Moment jedoch nicht völlig zurückdrängender Darlegung das Wesen der Karstlandschaft gekennzeichnet haben, müssen wir auch der Frage näher treten, ob denn nicht eine Gesamtsumme zusammengehöriger Faktoren gleichzeitig an einem Kalkmassive gearbeitet habe, um eben diese Vereinigung verschiedener Erscheinungen hervorzubringen; anderenfalls wäre nicht abzusehen, warum die Verkarstung sich nicht über jedes Kalkgebiet erstreckt haben sollte. Nach Reyer [1085] sind tektonische Vorgänge vor allem massgebend gewesen; v. Mojsisovics [1086] will einer gewissen Kombination tektonischer und zerstörender Prozesse das Wort reden; Tietze [1087] endlich spricht sich dahin aus, dass die Erosion als die entscheidende Ursache der Karstbildung zu gelten habe.

Dafür, dass, vorab bei der Entstehung der Poljen, Dislokationen innerhalb der oberen Erdschichten von Einfluss gewesen sind, lassen sich (s. o.) gute Argumente beibringen. Dass normale Thäler auf tektonischem Wege in blinde umgewandelt

werden können, davon hat sich Philippson [1088] in Morea überzeugt. So ist denn auch v. Mojsisovics' Ansicht wohl zu verstehen, dass die Erosionsthätigkeit sich erst kraftvoll zu entfalten vermochte, als das in Faltung begriffene Kalkgebirge plötzlich stabilisiert, diese Rindenbewegung zur Ruhe gebracht wurde. Diesen Standpunkt hat namentlich auch R. Hoernes [1089] zu dem seinigen gemacht. Das beste hat jedoch zweifellos die sich in allen ihren Erscheinungsformen bethätigende Erosion vollbracht; „die kombinierten Wirkungen einer teils oberirdischen, teils unterirdischen Wasserzirkulation nach den gewöhnlichen hydrostatischen und hydrodynamischen Gesetzen, Erosionseffekte im Inneren von Kalkgebirgen, chemische Auslaugungen, mechanische Auswaschungen, Bildung von Hohlräumen und Einstürze der Decken dieser Hohlräume, Gleichgewichtsstörungen und Wiederherstellungen des Gleichgewichtes" — das sind nach Tietze (s. o.) die bestimmenden Ursachen regionaler Verkarstung.

Die neueste Zeit hat noch ein weiteres, bedeutsames Moment herauszufinden gelehrt. Oesterreichs Forstmänner, an ihrer Spitze von Guttenberg [1090], haben die Aufforstung der öden Karstländereien ernsthaft ins Auge gefasst, und es sind an einzelnen Orten, z. B. im Kapellagebirge, auch schon recht schöne Erfolge erzielt worden. Der genannte Autor berechnet [1091], dass in Zisleithanien 1 100 000, in Transleithanien 340 000 Menschen auf Karstgebiet hausen, so dass die Bestockung dieser halb öden Distrikte vom höchsten wirtschaftlichen Vorteile sein würde. Und in der That scheint der österreichisch-ungarische Karst ehedem in ziemlich grossem Umfange bewaldet gewesen zu sein. Aus historischen und indirekten Andeutungen schliesst E. Richter [1092], dass der weitaus überwiegende Prozentsatz gegenwärtigen Karstbodens erst durch menschliche Vernachlässigung in den unerfreulichen Zustand von heute übergeführt worden ist, und Marchesetti [1093] sagte in seiner Art das Gleiche, als er den schon im Altertum berüchtigten Ziegen [1094] die Karstverwüstung in erster Reihe zur Last legte. Hat aber der Mensch gesündigt, so kann er auch wieder heilend eingreifen.

Und damit ziehen wir eine neue Bilanz unserer theoretischen Auffassung. Fest steht: Kalkgebirge erhielten die Tendenz zu rascher Verkarstung, als mit dem Innehalten einer bis dahin vorwaltenden tektonischen Bewegung die Erosion in bisher unerhört kräftigem Ausmaſse einzusetzen begann. Allein noch immer hätte die Natur nicht notwendig obsiegen müssen, wenn ihr nicht Gleichgültigkeit und forstlicher Raubbau der Karstbewohner den Sieg so sehr erleichtert haben würde. So kann es auch der menschlichen Einsicht gelingen, jenes — nach v. Mojsisovics (s. o.) — blattersteppige Aussehen der Karstoberfläche wenigstens teilweise verschwinden zu lassen.

§. 24. **Die Moränenlandschaft.** Das Wort Moränenlandschaft (glaziale Formation) ist zuerst von Desor und dann wieder gebraucht worden, als Clessin [1095] seine Schilderung des bayerisch-schwäbischen Voralpenlandes veröffentlichte. Heute ist dieses Wort ein allgemein übliches geworden, und zwar wird es, wie z. B. v. Ammon [1096] thut, von Manchen speziell für das Gebiet der inneren Moränen gebraucht, wogegen der daran nach aussen — also den Bergen abgewendet — sich anschliessenden Gegend der Penck'sche Name [1097] Endmoränenlandschaft beigelegt wird. Den Uebergang von ihr zum angrenzenden Tertiär vermittelt eine meist breite Zone der fluvioglazialen Schottermassen, die damals abgelagert wurden, als sich den abschmelzenden Riesengletschern jene ungeheuren Wassermassen entrangen, welche das Moränengerölle oft bis in ziemlich grosse Entfernung fortführten.

Der Gang der Darlegung dieses Paragraphen wird durch die geschichtliche Entwickelung der glazialgeologischen Lehren bestimmt. Wir suchen fürs

erste alle die Merkmale auf, deren Vorhandensein das geschulte Auge davon überzeugt, dass der betreffende Landstrich entweder direkt einmal als Gletscherbett gedient oder doch vom Gletscher und von dem ihm entströmenden Wasser kräftige Einwirkungen empfangen habe. Alsdann abstrahieren wir aus den so ermittelten Thatsachen, die wir nicht als regional begrenzte, sondern als weit verbreitete erkennen werden, die Notwendigkeit der Annahme, dass man erstere nur durch eine dereinstige Eisbedeckung von gewaltigen Dimensionen befriedigend erklären kann, indem wir zugleich andere Erklärungen als nicht zureichend zurückweisen. Damit ist für die in Abteil. V, Kap. IX wesentlich nur unter dem klimatologischen Gesichtspunkte abgehandelte Lehre von der Eiszeit die geologische Grundlage geschaffen, und es wird schliesslich unsere Aufgabe sein, die Ansichten zu besprechen, welche man sich über den Wechsel von Uebereisungs- und Interglazialperioden in den letzten Jahren gebildet hat, womit dann dieses neue Kapitel der Geophysik, wie kein anderes ein Kind des XIX. Jahrhunderts, seinen natürlichen Abschluss gefunden hat.

Die Geschichte der Glazialgeologie hat Penck [1098] mustergültig beleuchtet. Den Gedanken, dass beim Transporte grosser Blöcke die Gletscher beteiligt gewesen seien, hat, wie anderwärts nachgewiesen ward [1099], zuerst der zwar phantastische (I, S. 121), aber eben deshalb auch vor kühner Spekulation nicht zurückscheuende Astronom Gruithuisen [1100] gehegt. Jedenfalls ging er viel direkter auf sein Ziel los, als seine unmittelbaren Nachfolger Playfair, Esmark und Bernhardi, welche sich wesentlich auf mineralogisch-vergleichende Studien über Fundblöcke und Moränen beschränkten [1101]. Erst Venetz, Charpentier und L. Agassiz (vgl. S. 736) gelangten zu umfassenderen Anschauungen, und insbesondere gewannen diese an Festigkeit, als der geniale Naturforscher K. Schimper den Namen der Eiszeit schuf und zugleich deren schärfere Begriffsbestimmung durchführte. Da er leider wenig publizierte, so sind wir auf Volgers [1102] begeisterten Nachruf angewiesen, aus dem erhellt, dass Schimper die Glazialresiduen im Gebirgsvorlande, welche man bis dahin nur als eine Eigentümlichkeit der Schweiz aufgefasst hatte, als eine weit verbreitete, u. a. auch den Pyrenäen nicht fehlende Erscheinung kennen lehrte. Eine Ode („Die Eiszeit; für Freunde gedruckt am Geburtstage Galileis 1837") ist das einzige greifbare Dokument dieses wichtigen wissenschaftlichen Fortschrittes [1103]. Als bald nachher in Neuchatel die Sitzung der Schweizerischen Naturforscherversammlung stattfand, wandte sich L. v. Buch mit der ungezügelten Heftigkeit seines Naturells gegen diese Ketzereien [1104], und seinem Einflusse war auch deren vorläufige Beschränkung auf einen engen Forscherkreis zu danken. Dafür aber entfaltete Agassiz in Grossbritannien eine um so folgenreichere Agitation; Buckland, Murchison, seit 1840 sogar Lyell, bekehrten sich zu den neuen Ansichten [1105], welche aufzugeben v. Buch den jungen Freund noch in einem Briefe vom 22. Dezember 1837 dringend ermahnte [1106]. Gerade England und Schottland wurden nun die klassischen Länder für das Detailstudium der Moränenlandschaft. — Inzwischen war man aber auch anderwärts nicht müssig geblieben. Die Granitblöcke an der Odermündung hatten Wredes [1107] Aufmerksamkeit erregt; irrig war seine Vermutung, man habe es hier mit Abkömmlingen der böhmischen Gebirgsumrandung zu thun, aber verschiedene Gelehrte traten dafür ein [1108], dass diese Trümmer dem skandinavischen Norden entstammten, was besonders durch den Göttinger Mineralogen Hausmann [1109] so gut wie zur Gewissheit erhoben wurde. Ueber den Transport sprach sich zuerst der Schwede Sefström (s. u.) [1110] aus, selbstredend lebhaft angefochten durch L. v. Buch [1111], der freilich den schwachen Punkt in Sefströms Erklärung richtig herausgefühlt hatte. — Vor allem trat nun auch bald die Hochebene zwischen Alpen und oberer Donau, ein für die Kenntnis des Glazialphänomenes besonders gut disponierter Boden, in den Vordergrund. J. F. Weiss zwar hatte mit seiner feinsinnigen, den herrschenden Ansichten mehrfach widersprechenden Oberflächenkunde Südbayerns [1112] nur bei Wenigen Anklang gefunden, aber v. Gümbel erschloss in zahlreichen Schriften [1113] das Verständnis der noch so wenig ergründeten Formation, und ein paar fundamentale Abhandlungen v. Zittels [1114] stellten unser Wissen vom bayerischen Diluvium in den Grundzügen auf die Stufe, welche wir gegenwärtig erreicht haben. Eifrigste Detailarbeit, geleistet durch Penck [1115], A. Heim [1116] u. a., verhalf zu wesentlicher Vervollkommnung unserer Einsichten. Das erwähnte Penck'sche Werk und v. Ammons auch schon citierte Beschreibung des Münchener Moränengebietes markieren einen Abschluss angestrengtester Forschungsthätigkeit. In populärer Form hat M. Haushofer [1117] die Eigenart der Moränenlandschaft dargestellt.

Als echte Gletscherresiduen sind anzusehen die erratischen Blöcke (errare, herumirren) oder Findlinge, die zweifellos vom Eise an ihren gegenwärtigen Fundort gebracht worden sind. Sie, um deren willen man wohl auch von einem Erratikum oder erratischen Phänomene spricht, geben Zeugnis vom Vorhandensein der Oberflächenmoränen (Kap. III, §. 9); ob sie der Mittel- oder einer Seitenmoräne angehörten, lässt sich natürlich nicht mehr unterscheiden. Geschrammte und gekritzte Geschiebe andererseits kennzeichnen sich von selbst als Bestandteile der Grundmoräne und der am Boden des Gletschers unzweifelhaft ausgeübten Glazialerosion. Gerölle- und Trümmerhaufen, in denen sich oft Steinreste der verschiedensten Abstammung zusammenfinden, tragen die Kennzeichen der Endmoräne an sich. Indem ferner der erodierende Gletscher über Felsgrund wegschreitet, bringt er Gletscherschliffe und Rundhöcker zuwege; auch die sogenannten Åsar und

Fig. 224.



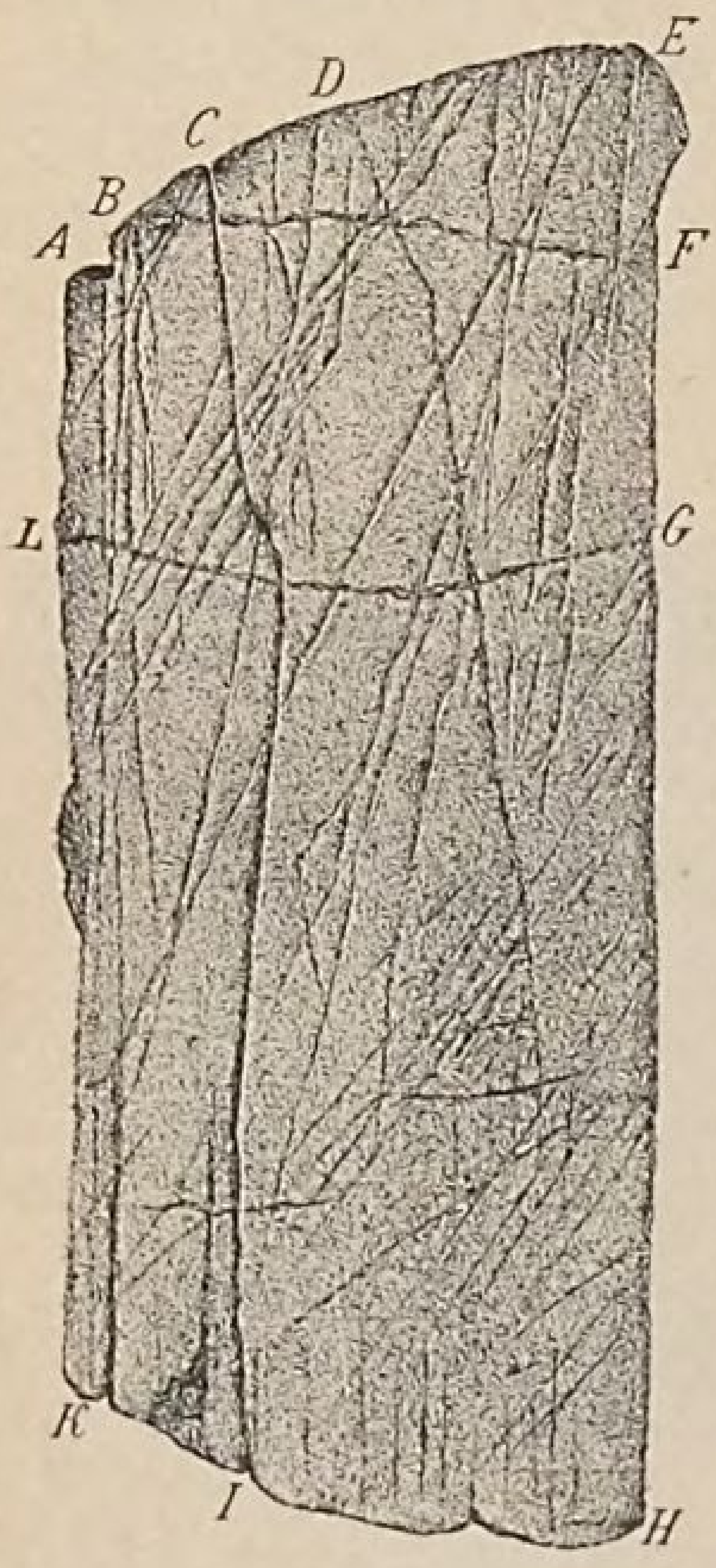
Drumlins sind ein sicheres Kennzeichen der Glazialformation. Gewisse charakteristische Bodenstauchungen interpretiert der mit solchen Vorkommnissen vertraute Glazialgeologe leicht als durch Eisdruck hervorgerufen. In den Randgebieten der dereinstigen Vergletscherung steht der Geschiebelehm an, und die Flussschotter (s. o.) sind nicht weniger als Zeugen des Vorhandenseins eiszeitlicher Gletscher anzuerkennen. Dagegen sind als nur unsichere Kriterien die Riesentöpfe und geologischen Orgeln bekannt; sie können glazialen Ursprunges sein, aber es kann sich auch ereignen, dass sie in niemals übereistem Terrain angetroffen werden.

a) Findlingsblöcke. Auch der Ungeübte identifiziert solche Fragmente leicht, weil sie durchweg, nach ihrer Gesteinsbeschaffenheit, nicht mit dem Boden, auf dem sie liegen blieben, übereinstimmen. An den scharfen Kanten erkannte Charpentier [1118], dass hier von Wasserverfrachtung keine Rede sein könne, und Venetz' [1119] erstmalige Aufstellungen wurden so glänzend gerechtfertigt. Manche Findlinge erreichen eine gewaltige Grösse; ein solcher bei Yverdun (Waadt) hat über 2000 cm Inhalt. Gewiss hat es vor einiger Zeit mehr erratische Blöcke denn jetzt gegeben; manche sind von den Landleuten zum Hausbau verwendet, andere von Gesträuch überwuchert oder vom Detritus des Waldbodens zugedeckt worden. Die noch vorhandenen sollte man, den Ratschlägen Du Pasquiers [1120] folgend, sorgfältig schonen. Eines der interessantesten Exemplare ist der Block von Percha (am Nordostende des Würm-Sees); „sein Gestein be-

steht“ — nach v. Ammon [1121] — „aus einem granatführenden, ziemlich feldspatreichen Hornblendeschiefer, der reichlich mit schräg laufenden Quarzadern durchzogen ist.“ Da eine analoge Felsart ausschliesslich im Selrainer Thale (westlich von Innsbruck) ansteht, dessen umschliessende Berge man vom Lagerungsorte des Findlings aus durch die Scharnitz-Lücke herüberblicken sieht, so ist der Weg, auf dem der Stein an seinen heutigen Platz gelangte, mit vollster Sicherheit zu verfolgen.

b) Gekritzte Steine. Auch nach dieser Seite hin ist Charpentier (s. o.) bahnbrechend vorgegangen. Feine Linien überziehen, in paralleler Anordnung, die Steinbrocken, so wie es aus Fig. 224 ersichtlich ist. Allerdings können, wie O. Lang [1122] betont, Fehlschlüsse leicht eintreten; die „stries pseudoglaciaires“ (pseudoglacialen Streifen) der französischen Geologen vermochte Lang an einem Stück Muschelkalk (Fig. 225) künstlich zu erzeugen. Nicht sowohl die tieferen Risse BF, LG, BK, CJ und DH erwecken diesen Eindruck, dass das Handstück AEHK einem Gletscheruntergrunde entnommen sei; wohl aber gilt dies von der zarten Parallelstreifung verschiedener Stellen. Auch Meunier [1123] beobachtete, dass, wenn sich Kies, unter Zufluss von Wasser, auf einer Böschung von 30° bis 40° abwärts bewegt, auf Kalkstein und Gerölle Schrammen entstehen, welche den von Gletschern hervorgebrachten ähnlich genug sehen, um leicht Verwechselung zu ermöglichen. Von einer mit Blaas vorgenommenen Okularinspektion der von der Solsteingruppe (nächst Innsbruck) 1892 niedergegangenen Lawine berichtet Penck [1124]: „in die einzelnen Lawinen hatten jüngere neue Bahnen eingerissen, welche sich durch steile Schneewandungen mit einer an Gletscherschliffe gemahnenden Striemung auszeichneten.“ Lawinenschrammung kann somit ihrerseits zu Täuschungen Veranlassung geben.

Fig. 225.

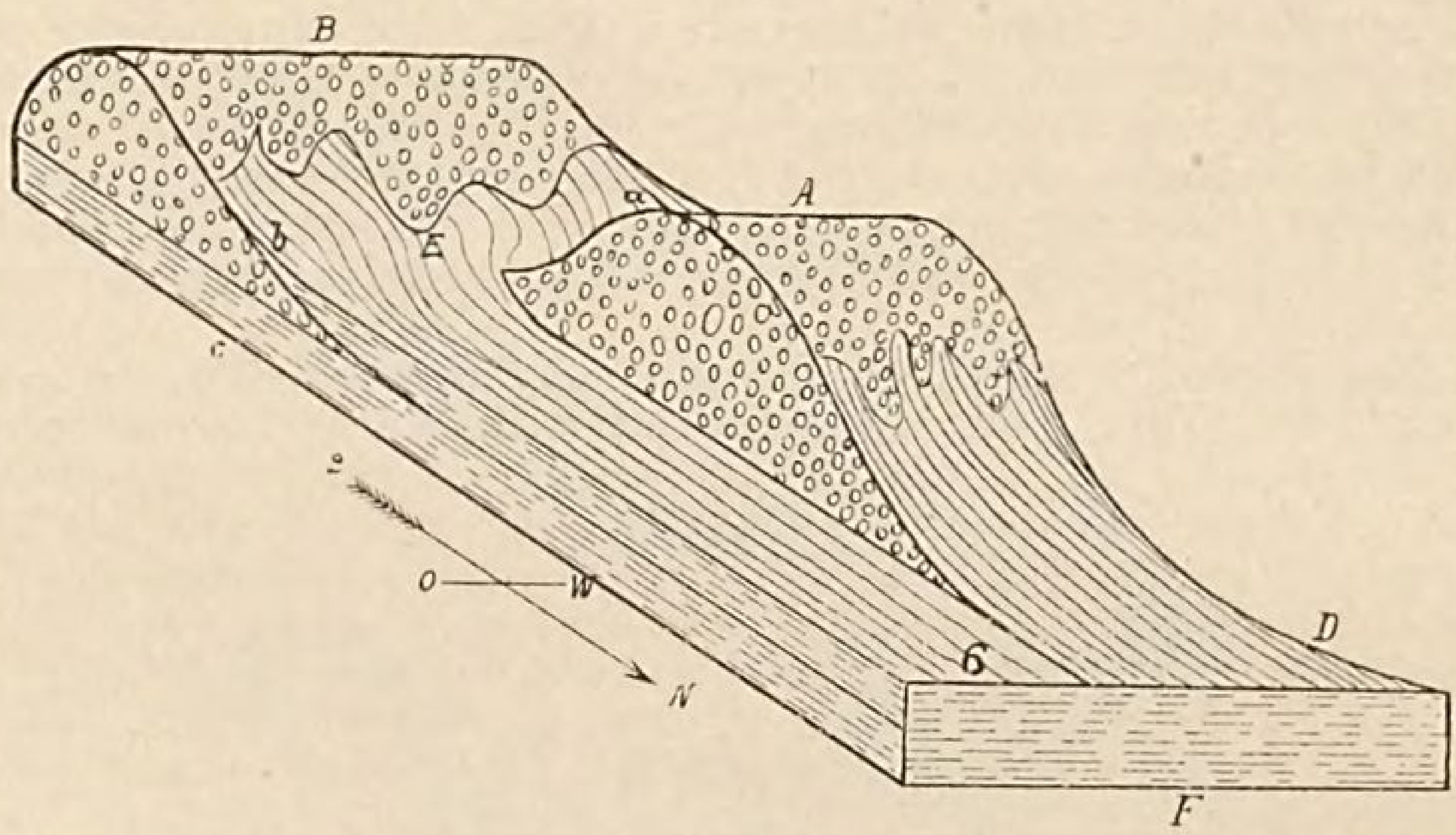


c) Gletscherschliffe und Rundhöcker. Ausgeschlossen wird die Täuschung, wenn in der Nähe der Fundstellen gekritzter Steine anstehender, glatt geriebener Fels zu finden ist. Die Tierschliffe (S. 925) werden selten auf wirkliche Abwege führen. Besonders schöne Gletscherschliffe kann man auch wieder in der Münchener Gegend sehen; denjenigen am östlichen Isarufer nächst Schäftlarn fand v. Zittel (s. o.) auf, und ebenderselbe [1125], sowie E. Oberhummer [1126], lenkten die allgemeine Aufmerksamkeit auf die herrliche, seit ein paar Jahren leider durch Tritte und darauf gewachsenes Moos etwas beschädigte Schliffläche von Berg (am Starnberger-See), von welcher E. Fraas [1127] eine Abbildung lieferte. Die Gletscher der zweiten Uebereisung gingen über eine Nagelfluhfläche aus der Zeit der ersten Vergletscherung hinweg und hobelten dieselbe völlig glatt, die eingebackenen Steine mit feinen Parallelzügen zeichnend. Hübsche Exemplare kennt man auch aus dem Algäu (Oberstaufen). — Die Rundhöcker, in der Französischen Schweiz „Roches Moutonnées“ genannt, weil eine Gruppe derselben, aus der Ferne gesehen, sich wie eine Schafherde ausnehme, sind nur ein spezieller Fall der Gletscherschliffe. Am unteren Grindelwaldgletscher kann man nach Penck [1128], am Sermilikfjord in Grönland nach v. Drygalski [1129] Rundhöckeransammlungen beobachten.

d) Endmoränen. Die Endmoräne ist in der bereits auf ihre Eigenart geprüften Landschaft als ein gegen das Gebirge konkaver Wall zu erkennen. Häufig vermittelt der sogenannte Uebergangskegel Du Pasquiers [1130] die Verbindung der Stirnmoräne mit der weiterhin angelagerten Schotterzone; Moräne und Schotter sind oft förmlich ineinander verfilzt, so wie es Fig. 226 nach den von Brückner [1131] im Bereiche des alten Salzachgletschers gewonnenen Erfahrungen wiedergibt. A und B stellen Teile der vom Schotter bedeckten Moräne dar, welche sich bei b und c tief in das Gerölle eingeschoben hat. Erst bei D nehmen die, wie der Sockel F zeigt, die Grundlage bildenden Schottermassen

wieder die regelmässige Lagerungsform an. Bei a und E sind letztere gestaucht worden. Grund- und andere Moränenreste zeigen sich nicht selten zu fester Breccie vereinigt. Sehr gut kenntlich ist in der bayerischen Ebene der ältere und jüngere Endmoränenzug, wie ein jeder durch v. Ammon [1132] festgestellt worden ist. — Auf Island werden nach Keilhack [1133] die an den Endmoränen emporstrebenden Gerölle Sandr genannt; sie haben das vor dem Gletscherende gelegene Land allmählich über die Sohle des Eises emporschwellen lassen. — Ausgezeichnete Kammformen bietet die von Wahnschaffe [1134] beschriebene und abgebildete Endmoräne der Uckermark dar; inwieweit die von Boll [1135] zuerst bemerkten, von E. Geinitz [1136] eingehend studierten mecklenburgischen Geschiebestreifen als Endmoränen zu deuten seien, ist nach Wahnschaffe zweifelhaft, indem mehrere der ersteren wohl nur blöckereiche Grundmoränen sein dürften. Jedenfalls haben Berendt und Wahnschaffe [1137], ähnlich wie in Oberbayern, so auch in einigen Teilen der norddeutschen Tiefebene zwei distinkte Endmoränenbogen nachzuweisen vermocht.

Fig. 226.



e) Åsar und Drumlins. Unmittelbar vollzieht sich der Uebergang zu den nordischen Åsar, die Sefström [1138] als langgestreckte Geröllhügel definiert. Sie sind häufig auf dem Areale der Rundhöckerlandschaft (s. o.) und lassen sich als Anhäufungen des von subglazialen Flüssen mitgeführten Gerölles — nach Pencks Anschauung [1139] — meilenweit verfolgen. Ihnen ähneln die von den nordamerikanischen Geologen als Drumlins bezeichneten Hügel, deren Basis eine stark exzentrische Ellipse zu sein pflegt. Upham [1140] und Davis [1141] haben mit deren Studium begonnen; letzteren zufolge [1142] schmücken diese bis zu 1 km in der Länge (der grossen Achse) und 30 bis 60 m in der Höhe messenden Hügel massenhaft das Land südlich vom Ontario-See. In Deutschland hat Sieger [1143] sich dieser Gebilde zuerst mit Eifer angenommen; er [1144] und Früh [1145] beschenkten uns mit einer Charakteristik der Drumlinslandschaft, die am Boden-See kräftig ausgebildet ist und ein Agglomerat von linsenförmigen Hügeln mit eingelagerten Seechen, Moor- und Riedflächen repräsentiert.

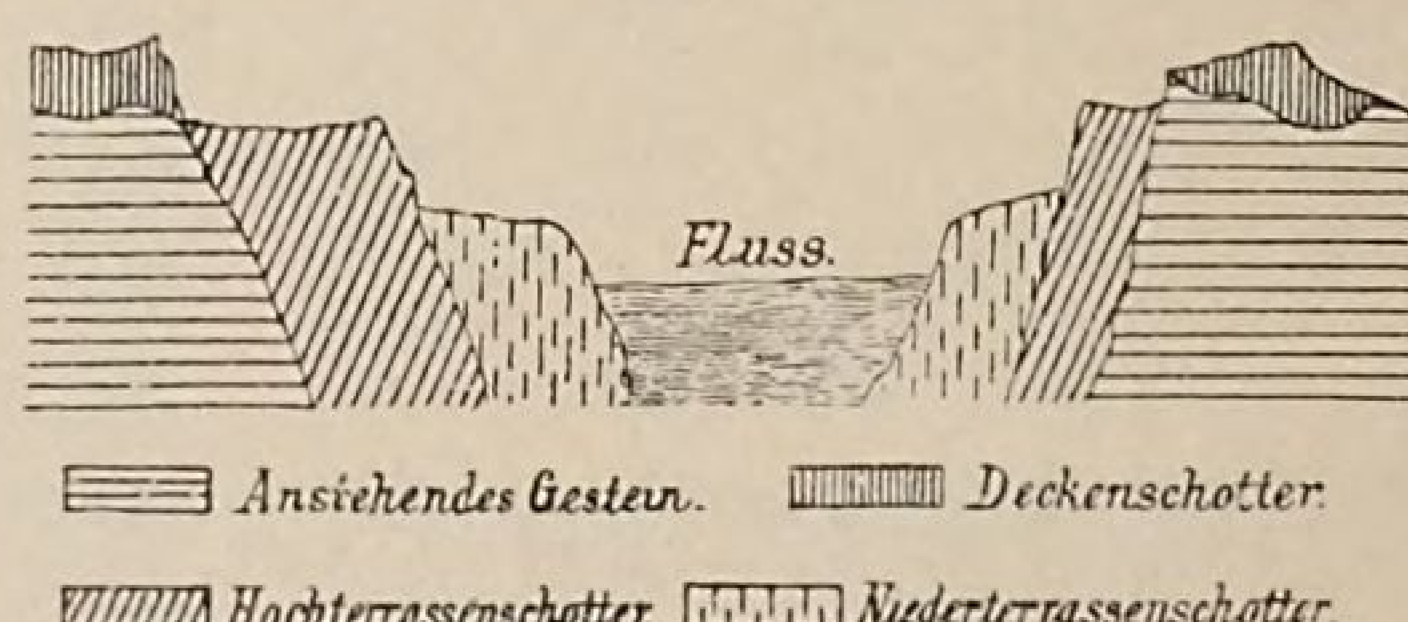
f) Bodenstauchungen. Erhöhungen und Gestaltveränderungen im Gerölle und überhaupt in lockeren und plastischen Massen verraten in vielen Fällen die Eispressung. Sehr gründlich werden solche Erscheinungen innerhalb der südbaltischen Moränenlandschaft von Wahnschaffe [1146] behandelt; reich an Belegen zeigt sich nach H. Credner [1147] das Königreich Sachsen, und v. Calker [1148] begegnete solchen in Westfriesland. Oben (S. 911) sahen wir, wie nach H. Haas Stauchungswälle der zweiten nordischen Vergletscherungsperiode alle nordalbingischen Gewässer gegen Westen ablenkten; der gleiche Geologe huldigt [1149] der Ansicht, dass diese morphologische Aktion des Eises, zusammenwirkend mit den erodierenden Wirkungen des Fluss- und Salzwassers die Bildung der schleswigschen Föhrden bewirkt habe. — Einen sehr machtvollen Einfluss auf die Gestaltung

des heutigen Ostseebeckens schreibt R. Credner [1150] der Eisbewegung zu, indem er dabei allerdings den Effekt der Gletschererosion (S. 892) ziemlich hoch veranschlagt.

g) Geschiebelehm. Vielfach erweisen sich die Gesteinsfragmente eingebettet in eine plastische Substanz, welche Geschiebelehm oder, mit nur unwesentlicher Verschiedenheit, Geschiebemergel genannt wird. Die Hauptmasse ist, wie Penck [1151] bemerkt, wesentlich aus dem Untergrunde hervorgegangen. Sandiges und thoniges Material wiegt bei weitem vor; die eigentlichen Geschiebe machen höchstens 10 % des Gesamtvolumens aus. In der Zusammensetzung weicht von dieser Grundmasse einigermassen ab der von Penck [1152] und Mehner [1153] näher erforschte sächsische Blocklehm. Der Schollenthon („Boulder Clay"; als Varietät „Erie Clay") des nordamerikanischen Westens wird von Ratzel [1154] als eine ähnliche Bildung beschrieben. — Manche Bestandteile des norddeutschen Erratikums (S. 937) hatte man, wie es z. B. von seiten H. Haas' geschah [1155], als angeschwemmten Laterit aufgefasst, und auch andere Lehmmassen, die man gewöhnlich als Grundmoräne definiert hatte, vor allem auch norddeutsche Tertiärsedimente, bringt Haas [1156] mit der Lateritisierung der an Thonerdesilikaten reichen Felsen Skandinaviens in Kausalverbindung. Dass der Genannte vor der Ueberschätzung der erosiven Gletscherwirkung warnt, finden wir gerechtfertigt, aber eine namhafte Grundmoräne kann recht wohl das Ergebnis starker Bodenverwitterung sein (S. 893).

h) Glazialschotter und Löss. Die neuere Auffassung des Wesens der fluvioglazialen Bildungen, für welche sich eine besondere Nomenklatur als not-

Fig. 227.



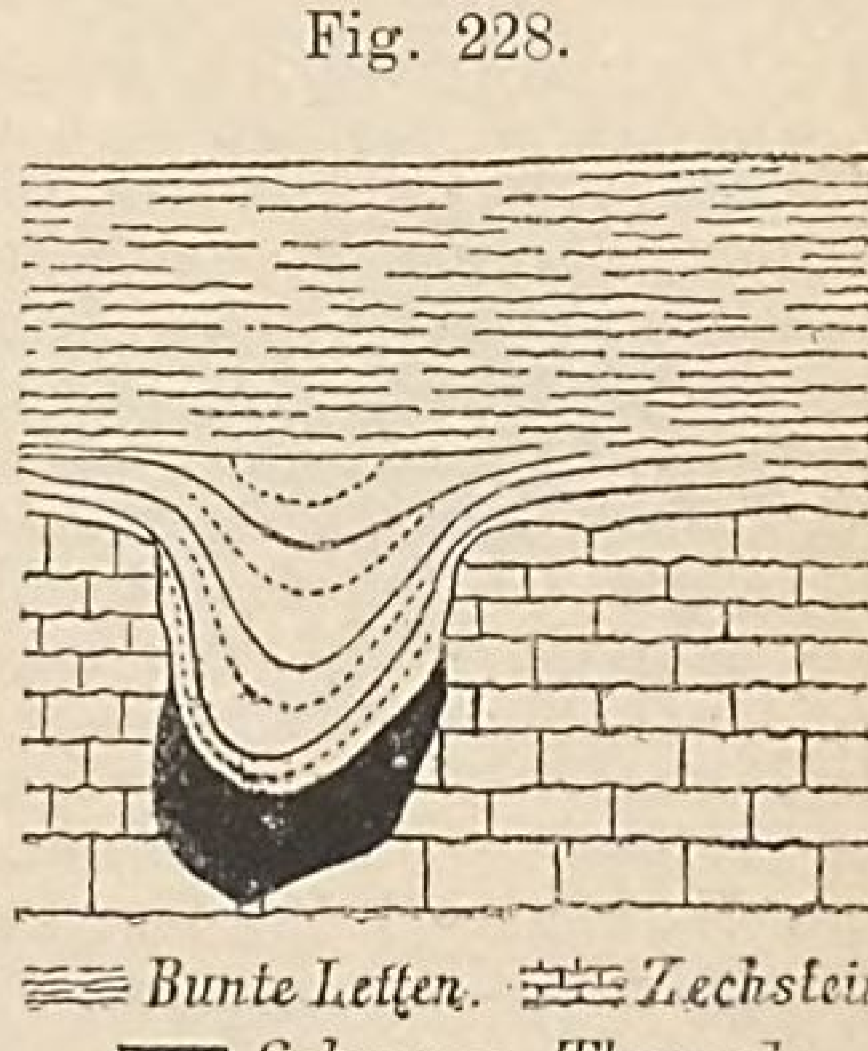
wendig erwies, lernt man am besten kennen durch eine von Penck, Brückner und Du Pasquier gemeinschaftlich verfasste Schrift [1157], wie denn überhaupt der Neuenburger Gelehrte sich besonders emsig mit diesen gerade in der Westschweiz markant auftretenden Erscheinungen beschäftigte [1158]. Morlot, Bachmann, Falsan, vor allem aber Mühlberg, der sich um die Erforschung der das Strombett begleitenden Terrassen (S. 910) grosse Verdienste erwarb [1159], hatten auf die keineswegs identischen Ablagerungszeiten der Schotterbänke hingewiesen, und heute kann man folgendermassen die Reihenfolge festsetzen: Die älteste der vom Wasser bewirkten Anschwemmungen ist der Deckenschotter; die mittlere Etage wird erfüllt vom Niederterrassenschotter; zu oberst liegt der Hochterrassenschotter. Das als Nagelfluh (s. o.) bekannte kalkig-sandige Konklomerat gehört wesentlich dem Deckenschotter an. Fig. 227 bringt dies zur Anschauung. — Decken- und Hochterrassenschotter sind oftmals bedeckt von Löss (vgl. S. 674), den man auch den Glazialbildungen beizuordnen gewohnt war; ob mit Recht, das wird nach neueren Aufklärungen [1160] von Du Pasquier und Penck recht zweifelhaft. — Morphologisch waren die vom Gletscher entbundenen Ströme beteiligt an der Gestaltung jener Moränen-Amphitheater (Ivrea, Südende des Garda-Sees), welche, vielfach von Seen okkupiert, sich jenseits der Endmoräne hinziehen [1161], sowie an der Ausfurchung der uns (S. 608) bekannten Trockenthäler, über deren Entstehung unter verschiedenen Verhältnissen sich Penck [1162] des näheren verbreitet. — Selbstredend sind diese Ablagerungen nicht etwa aufs Voralpenland beschränkt. Roebel [1163] nimmt die Havelthone bei Rathenow als postglaziale Flussbildungen in Anspruch, und Ch. Vogel [1164] fand zwischen Aschaffenburg und Wörth a. M. drei Entwickelungsstufen im Alter der Mainterrassen

ausgesprochen, so dass insbesondere das Gebiet des Hochterrassenschotters sich sehr deutlich von den anderen Stufen abhob.

i) Riesenkessel. Aushöhlungen von der Gestalt eines Kugel- oder Sphäroidsegmentes, welche unter dem Namen Riesenkessel, Riesentöpfe, Strudellöcher, Gletschertöpfe dem Volke bekannt sind, wollte man früher durchweg mit den Gletscherphänomenen in inneren Zusammenhang bringen. So schilderte Berendt [1165] die von den Kiesbrucharbeitern als „Sandbüchsen" bezeichneten hannöverschen Vorkommnisse; Nötling [1166] gab Nachricht über die Rüdersdorfer Bildungen; über Schlesien und die Ostseeprovinzen wurde der einschlägige Bericht von H. Gruner [1167], v. Helmersen [1168] und Grewingk [1169], über Oberösterreich von Commenda [1170] erstattet. Gewiss konnte Berendt, der vieles Material über solche Höhlungen verarbeitet hat [1171], mit Recht betonen, dass, zumal in den Gletschermühlen (S. 734), auch die rezenten Gletscher Bedingungen für die Bildung von Auswirbelungslöchern darbieten, und wenn man also in der Verbreitungsgrenze des Erratikums (s. o.) solchen begegnet, so ist der glaziale Ursprung so gut wie sichergestellt. Dies gilt z. B. von dem Evorsionstrichter von 17 m Oeffnungshalbmesser, den Pfeifer [1172] bei Ueberlingen untersuchte; dies gilt ferner von den schönen Kesseln in dem durch eine — auf kleinstem Raume — selten vollständige Vereinigung glazialer Residuen ausgezeichneten Luzerner Gletschergärtchen [1173]. Nur darf man nicht vergessen, dass auch blosse Sicker- und Verwitterungslöcher, wie Penck [1174] — vgl. auch S. 878 — bemerkt, ganz ähnlich aussehen können, und dass auch gewisse Auswaschungsformen bei Wasserfällen, Klammen (Gollinger Oefen) u. s. w. in dieselbe Kategorie zu stellen sind. Mit Heim [1175] werden wir uns sonach auf die Aussage beschränken, „nur genaues Studium des einzelnen Falles kann entscheiden, ob ein bestimmter Riesentopf zu den Zeugen der Eiszeit zu rechnen ist oder nicht." — Was die Mechanik der Aushöhlung anlangt, so verraten zurückgebliebene, geglättete Reibsteine, wie z. B. in Luzern, gar häufig, wie sich die Scheuerkräfte des bewegten Wassers und der umgetriebenen Brocken — ähnlich wie in Lamberts [1176] Apparat zur Abrundung von Kugeln oder in den Schussermühlen am Untersberg — summierten. Blosser Reibsand thut vielleicht noch bessere Dienste. — Es verdient bemerkt zu werden, dass schon im XVIII. Jahrhundert von Runeberg [1177] und Schoepf [1178] ganz korrekte Ansichten über die Entstehung der Riesenkessel (schwedisch jättegrytor) ausgesprochen worden sind.

k) Geologische Orgeln. Die Erdorgeln oder Erdpfeifen (puits naturels), die man nahe bei Maestricht (Niederlande), in der Eifel, in Sachsen, England, Frankreich und Venezuela mehrfach findet, sind vertikal nach unten ins Gestein eindringende Vertiefungen, mitunter erfüllt durch einen aus darüber liegender Lettenmasse in die Löcher hineingedrungenen Lehmzapfen. Von Brongniart [1179] und Matthieu [1180] wurden die ersten Nachrichten über diese Erscheinung veröffentlicht; ein gutes Bild (Fig. 228) gewährt Pencks Zeichnung [1181] einer bei Crimmitzschau entdeckten Erdpfeife, in deren plastischer Intrusivmasse sich ähnliche Druckschichtung offenbart, wie wir sie (I, S. 352) bei gepressten Metallen kennen lernten. Prestwich [1182) will von glazialer Mitwirkung gänzlich abgesehen und lediglich eine Gesteinszersetzung durch das Tagewasser zugestanden wissen; die geologischen Orgeln jedoch, die sich im (trockenen) Gleissenthale bei München befinden, und die v. Ammon [1183] genau skizziert, scheinen doch eine gelegentliche Glazialwirkung anzudeuten. Und so wohl auch in anderen Fällen.

Fig. 228.



Nunmehr wird es uns obliegen, den Beweis für unsere oben aufgestellte Behauptung zu liefern, dass das erratische Phänomen ein weit verbreitetes sei. Natürlich kann unsere geographische Uebersicht keine vollständige sein, da wir uns von vornherein haupt-

sächlich auf Europa beschränken und der anderen Erdteile mehr nur sekundär gedenken. Jedenfalls aber wird sich, da ja die einschlägige Forschung noch nicht viele Jahrzehnte im Gange ist, aus den zur Zeit erhaltenen Resultaten folgern lassen, dass noch weite Erdräume als dereinst vergletschert werden erkannt werden.

Was die Alpen und ihre Vorländer anlangt, so haben wir hierüber bereits, da und dort verstreut, die wichtigsten Notizen beigebracht. Speziell für die Inn- und Salzachgegend war, noch ehe Brückners (s. o.) bedeutsame Arbeit erschien, durch Schoenamsgruber [1184], F. Stark [1185], Fugger-Kastner [1186], Frauscher [1187] u. a. vieles geleistet worden, und insbesondere Fugger [1188] hatte durch seine Abbildung des vergletscherten Salzachthales, aus welcher der Hellbrunner Hügel als Nunatak (S. 759) hervorragt, wesentlich dazu beigetragen, feste Anhaltspunkte für die Vergleichung der diluvialen Vergletscherung mit dem grönländischen Binneneise zu gewinnen. So kam man dazu, die Wege des Salzach-, Inn-, (bayer.) Traun- und Isargletschers genau zu ermitteln; der die Stadt Traunstein tragende Hügel war in seinem oberen Teile stets eisfrei, und gleicherweise konnte Penck [1189] dem Fernpasse die Eigenschaft eines Gletscherthores absprechen, weil dessen Wände keinerlei Glazialspuren an sich tragen. Für die Schweiz sind ausser den schon genannten Arbeiten noch solche von Wettstein [1190] und A. Favre [1191] zu citieren; Baltzer [1192] vermochte die ehemalige ungeheure Ausdehnung des Rhônegletschers und dessen Abfluss über den Brünig festzustellen; Penck ermittelte [1193] die Grenzen des alten Rheingletschers zwischen Rindalphorn und Säntis, desselben, dem die Abschleifungen (S. 938) von Oberstaufen zu verdanken sind. Das Montblancgebiet haben Favre und Falsan gründlich aufgeklärt [1194]. — Die durch F. Bayberger [1195] zuerst der Diskussion unterstellte Vergletscherung des Böhmerwaldes gilt noch nicht als gesichert. Im nördlichen Süddeutschland haben Kalkowsky [1196] (Frankenwald), Thürach [1197] (bei Langenzenn und Monheim), Ch. Vogel (s. o.; Spessart), Klemm [1198] (Odenwald), Blanckenhorn [1199] (Frankenjura) Erratikum nachweisen zu können geglaubt; ist dies der Fall und treffen die von Blanckenhorn [1200] selbst geltend gemachten Bedenken nicht zu, so muss man nach Steinmann [1201] die bisherige Auffassung des Glazialtransportes in einigen Punkten modifizieren. — In der Westpfalz stellten sich Leppla [1202] unzweideutige, wiewohl indirekte Kennzeichen ehemaliger Uebereisung dar, und für die Hart lieferten Mehlis' [1203], von Thürach bestätigte und photographisch fixierte Funde den analogen Nachweis, so dass Lepplas [1204] anfängliche Zweifel als gehoben gelten können. Auch F. Bayberger [1205] kommt in einer viele gute Beobachtungen über Thalbildung enthaltenden Studie zum gleichen Schlusse. Die Vogesen reihte schon frühzeitig G. Gerland [1206] in die zweifellos vergletschert gewesenen Gebiete ein. — Die Karpathen sind durch J. Partsch' [1207] methodisch wertvolle Untersuchung, ebenso wie die Sudeten, der Glazialformation eingereiht worden, wiewohl der Autor [1208] den Kesselthälern gegenüber die von Helland [1209] nicht geübte, von Bonney [1210] aber dringend empfohlene Reserve für geboten hielt. Partsch hat dann auch [1211] das Riesengebirge gründlich durchforscht und eine Doppelvereisung dargethan; während der ersteren war der norwegische Gletschertypus (S. 726) vorherrschend, während die zweite Periode sich mit kleineren Kargletschern begnügte. — Von dem norddeutschen Mittelgebirge und Tieflande ward verschiedenes bereits mitgeteilt; hinzugefügt sei noch, dass Michael [1212] bei Weimar, Zech [1213] bei Halberstadt, Beyer [1214] in der Lausitz, Wahnschaffe [1215] in Posen, R. Beck und Doss [1216] bei Dresden unverkennbare Gletscherspuren entdeckten. — Für die Sarmatische Tiefebene haben v. Siemiradzki [1217] und Nikitin [1218] eine Eiszeit festgestellt, ohne jedoch dieselbe gliedern zu können; freilich ist gerade hier auch oft die Scheidung der alluvialen und diluvialen Gebilde sehr schwer durchzuführen, wie dies, nach Schaefer [1219], nicht minder der Gebirgsforscher erfahren muss. — Vom entgegengesetzten Ende Europas ist die Eiszeit der Pyrenäen als ein Ergebnis von Pencks [1220] Forschung bekannt geworden.

Eine Sonderstellung nimmt Grossbritannien ein, wie das von Brückner [1221] in Deutschland eingeführte fundamentale Werk J. Geikies [1222] nachweist. Auf die gewaltige zweite Vereisung, welche von den nordwestlichen Gebirgen bis zur Themse und zum Bristol-Kanal ausstrahlte, folgten noch schwächer

ausgeprägte Eisperioden. Geikie zeigt [1223], dass auch Irland eines partiellen Eismantels nicht entbehrte.

Sehen wir zunächst noch von den eine Ausnahmestellung einnehmenden Eisspuren Südafrikas und Südindiens (s. u.) ab, so konstatieren wir diluvial vergletscherte, von Muschketow und Tronow durchforschte Gebiete in Turkestan und dem Altai [1224], sowie eine von Griesbach und Diener ausser Zweifel gesetzte Eiszeit im Himálaya [1225]. Hier fällt allerdings die Seltenheit diluvialer Kare und von Grundmoränen herrührender Reste auf. — Das Areal der diluvialen Eisbedeckung Nordamerikas berechnet Upham [1226] zu 10400000 qkm. Speziell für Kanada hat Dawson die Details der Vereisung ausgemittelt [1227], und über die Weststaaten (zumal Wisconsin) liegen wichtige Mitteilungen Wahnschaffes [1228] vor. Was heute eisfreie Flächen Südamerikas betrifft, so hat Sievers [1229] für Venezuelas Gebirge das Vorhandensein von Glazialschotter wahrscheinlich gemacht.

Zur Erklärung dieser Komplexe vielgestaltiger Phänomene appellierte man zuerst an eine allgemeine Flut (daher der Name Diluvium). Nächstdem kam die Ansicht zur Geltung, dass Verfrachtung durch schwimmende Eisberge angenommen werden müsse. Der heutigen Auffassung arbeitete in gewissem Sinne Gruithuisen (S. 936) vor, der dafür hielt, ein ganzer Gletscher sei durch die Hochflut aus seiner Mulde gehoben und durch deren Wogen an einen entfernten Ort getragen worden, wo er langsam schmolz. Heute ist fast allgemein die Ueberzeugung herrschend geworden, dass mit der Annahme fortrückender, ungeheuer vergrösserter Gletscher und der durch sie im Zustande des Schmelzens gelieferten Wassermassen für alle Einzelheiten der erratischen Erscheinungen eine allseitig befriedigende Interpretation zu gewinnen sei.

Als Hauptvertreter der Fluttheorie haben wir (S. 936) Sefström und v. Buch kennen gelernt; gegen Agassiz' Glazialhypothese nahm noch 1837 der jüngere J. A. Deluc [1230] die erstere in Schutz. Die schon 1765 [1231] von Dulac selbständig erdachte Drifttheorie hat in neuerer Zeit namhafte Vertreter, wenigstens bis zu einem gewissen Grade, in Stapff, H. Haas und O. Lang [1232] gefunden. Ein Bedenken Stapffs [1233], ob nämlich die Erstreckung der skandinavischen Gletscher bis zum böhmischen Gebirgsrande mit den Gesetzen des Gleichgewichtes verträglich sei, konnte als durch die Rechnungen v. Drygalskis [1234] erledigt angesehen werden. Und auch Ricketts' [1235] Deutung gewisser westenglischer Schichten, die durch Einsinken der von den Eisbergen mitgeführten Geschiebe in den See von Liverpool entstanden sein sollten, ist nicht von hinreichender Beweiskraft.

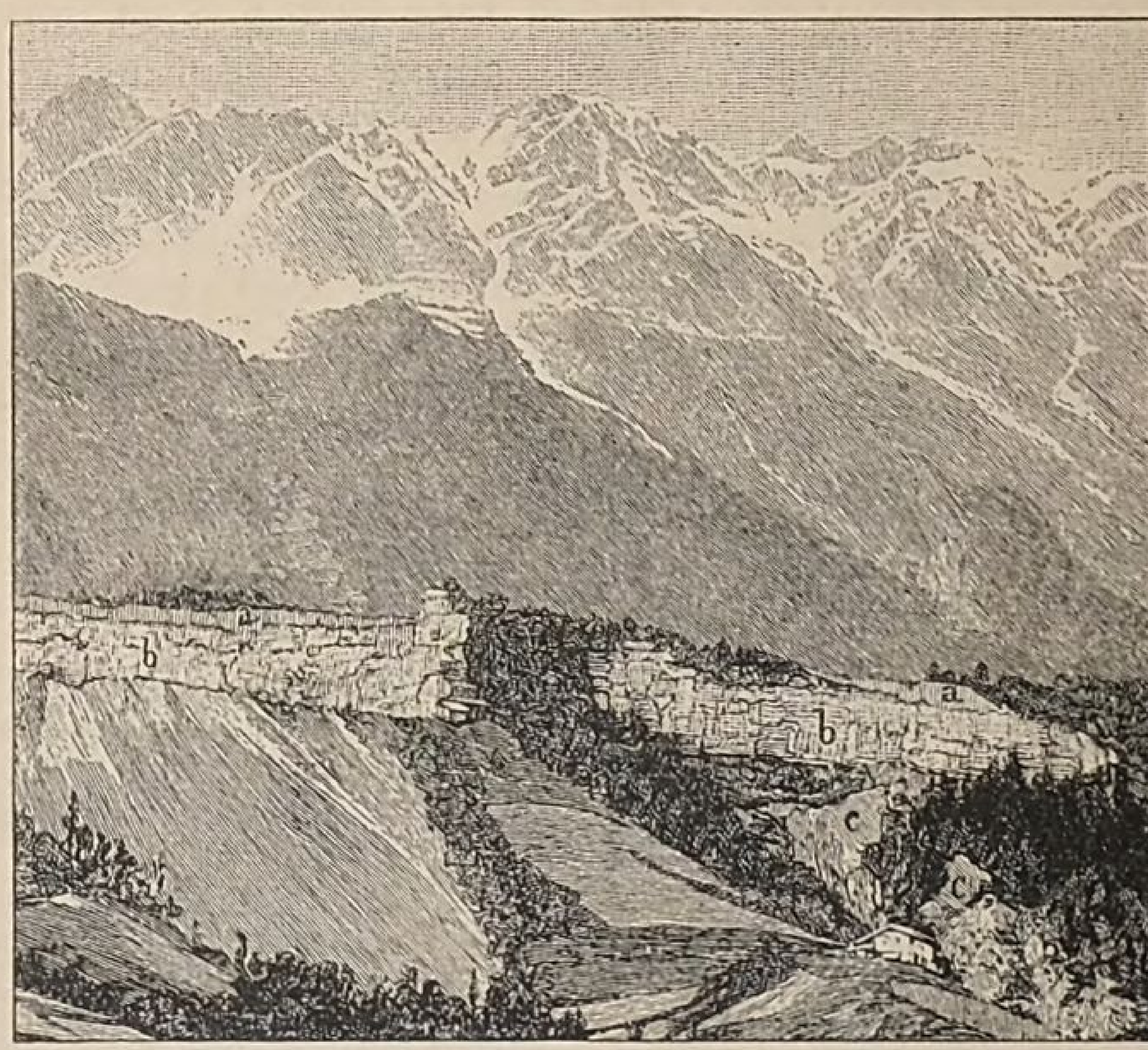
Kaum des Erwähnens wert erscheint die kuriose Lehre [1236], dass Baumstämme, selbst von der Flut mitfortgerissen, die Gerölleablagerungen und Findlinge verfrachtet haben sollen. Und die anderen Glazialerscheinungen? Man muss es Pfeifer [1237] Dank wissen, dass er für einzelne ferner stehende Kreise — für die Fachwelt war es nicht erforderlich — die Unhaltbarkeit solcher Phantasmen und die Richtigkeit der Glazialtheorie einleuchtend zu machen bestrebt war.

Die uns nun durch ihre nachgelassenen Spuren genau bekannte Eiszeit ist keine einheitliche gewesen; auf Zeiträume imposanten Gletscherwachstums folgten Interglazialzeiten von wahrscheinlich ganz normalem Charakter. Dass es sich so verhalte, wurde bereits im klimatologischen Abschnitt ausgesagt (S. 338), allein es fehlten damals — und mussten fehlen — die geologischen Beweise. Jetzt sehen wir uns in der Lage, diese nachzubringen. Man erschliesst die Existenz von Interglazialzeiten wesentlich daraus, dass zum öfteren Schichten echt glazialer Provenienz mit solchen wechsellagern, welche nicht allein solcher Anzeichen bar

sind, sondern sogar durch pflanzlich-fossile Einschlüsse auf einen ganz anderen Klimastand hinweisen.

Was bis zum Jahre 1882 an solchen Kriterien bekannt war, hat das vielerwähnte Werk Pencks durchaus verwertet; zumal auf die interglazialen Kohlenlager wurde Gewicht gelegt [1238]. Später sind dann besonders die Funde von Homerdingen und aus der Höttinger Breccie in den Vordergrund getreten. Erstere (Hannover) wurden von C. A. Weber [1239] genau beschrieben; man erkennt, wie mit dem stetig fortschreitenden Klimawechsel die Baumformen verschwanden und erschienen. Gegen E. Geinitz, der [1240] interglaziale Torflager in Norddeutschland noch als fraglich hingestellt hatte, sucht Weber [1241] diese Hypothese mit vielen Gründen zu beweisen, indem er neben eigentlichen Vergletscherungspausen auch Interoszillationszeiten zu

Fig. 229.



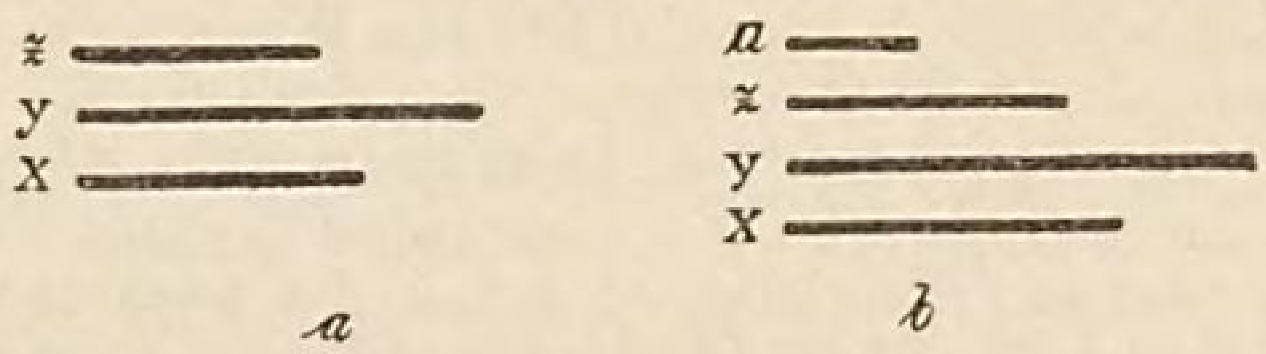
beachten anrät. Auch Nehrings [1242] bei Kottbus aufgedecktes Lager pflanzlicher Versteinerungen ist interglazial. — Für die beim Dorfe Hötting, unmittelbar nördlich von Innsbruck, erschlossene Breccie haben Pichler-Unger [1243], v. Boehm [1244], Blaas [1245] und vor allem Penck [1246] das spezifisch geologische, Stur [1247] und v. Ettingshausen [1248] das phytopaläontologische (S. 676) Moment eingehend gewürdigt. In Fig. 229 weisen die Buchstaben aus, wie sich die pflanzenführende Schicht b zwischen die mit gekritzten Gesteinen erfüllten Straten a, c einschiebt; Daphne Hoettingensis, Ilex glacialis, vor allem aber Rhododendron lassen keinen Zweifel darüber, dass, als diese Gewächse am Leben waren, ein relativ mildes Klima das Innthal beherrschte. — Auch nächst Schaffhausen, bei Flurlingen [1249], sind von Wehrli Interglazialreste aufgefunden worden.

Von Waagen [1250] wurde im indisch-südafrikanischen Karbon (Glossopterisschichten) ein einheitlicher Glazialhorizont nachgewiesen. Die Glazialgebilde der Kohlenperiode ziehen sich über mehr als den vierten Teil der Erdoberfläche hin. Damit ist wahrscheinlich gemacht (Abt. V, Kap. IX, §. 7), dass den Vereisungen eine generelle Ursache zu Grunde liegt, und dass auch in anderen Horizonten noch Vergletscherungsresiduen werden gefunden werden. Zur Prüfung der Frage, ob ein zeitlicher Rhythmus in den Epochen der fortschreitenden und regressiven Uebereisung erkennbar sei, hat Ebert [1251]

geologische Schichtuntersuchungen, nach ganz neuem Verfahren anzustellen, in Vorschlag gebracht.

In England ist (s. o.) eine fünf- bis sechsfache Eiszeit wahrscheinlich gemacht worden. Anders auf dem Kontinente; für Norddeutschland trifft die Dreizahl zu, wie Fiebelkorn [1251] bestimmt versichert; wie anderswo (s. o.) Decken-, Nieder- und Hochterrassenschotter, so gehören hier Decksand, Thalsand und Löss je in eine eiszeitliche Periode. Während die deutschen Glazialgeologen durchweg auch bei dreimal wiederkehrender Alpenvergletscherung stehen bleiben, die nach Du Pasquier, der diesen Gegenstand besonders gründlich behandelte [1252], zeitlich durch die drei Strecken x, y, z (Fig. 230a) zu kennzeichnen wären, postuliert letzterer [1253] im Bereiche des Jura noch einen vierten Zeitraum, so dass durch x, y, z, u (Fig. 230b) die Masszahlen gegeben wären. Heims Messungen von

Fig. 230.



Schlammablagerungen in Reuss und Muotta, kontrolliert durch diejenigen Brückners am Bödeli (bei Interlaken) legen nahe [1254], dass seit Schluss der letzten grossen Vergletscherung mindestens 10000 und höchstens 50000 Jahre vergangen sind.

§. 25. **Die historische Landschaft.** Sowohl für den Geographen, wie auch für den Historiker ist es eine ansprechende und nützliche Aufgabe, den Veränderungen der Landoberfläche speziell auch in geschichtlicher Zeit nachzugehen. Eine zusammenhängende Darstellung des Planes und der Methode hat Wimmer zuerst in einzelnen Aufsätzen [1255] und sodann in einer selbständigen Schrift [1256] gegeben. Es soll erreicht werden, klare Begriffe darüber zu erhalten, wie, im Sinne einer von J. Braun [1257] — allerdings mehr unter der Herrschaft archäologischer Beweggründe — ausgegangenen Anregung, in einer bestimmten Epoche ein bestimmtes Land ausgesehen hat. Es leuchtet ein, dass, um zu diesem Ziele zu kommen, auf die Unterstützung der physischen Erdkunde nicht verzichtet werden kann.

Es wurde im kartographischen Abschnitte (I, S. 305) einer Abhandlung Erwähnung gethan, in welcher Walser [1258] den anscheinend gut gelungenen Versuch machte, durch Vergleichung des modernen Oberflächenbildes des Kantons Zürich mit dem 1667 entstandenen [1259] Kartenbilde Gygers die inzwischen eingetretenen Veränderungen zu ermitteln. Es fanden sich solche vor, die durch das Walten der Naturkräfte, und solche, die durch menschlichen Eingriff veranlasst waren, welch letzteres sich besonders in der Verschiedenheit der Waldbestände aussprach. Dieser dankenswerten Untersuchung ist an die Seite zu stellen diejenige von Koeberlin [1260] über die Umgestaltung des Bamberger Landschaftsbildes. Veränderungen der Flussläufe (Main und Regnitz; vgl. §. 17), Verschwinden kleinerer Seen (Kap. IV, §. 2), Erdfälle im Juragebirge u. dergl. fielen selbst für den Verlauf weniger Jahrhunderte ins Gewicht, wiewohl die seit dem XIII. Jahrhundert bemerkbar werdende

Wirtschaftsmetamorphose gewichtigere Beiträge lieferte. Verdienstlich wäre es, die bayerische Hydrographie vergleichend an der Hand der „Mappe“ Phil. Apians (I, S. 305) und der von C. Gruber [1261] als vortrefflich geschilderten Stromkarten v. Riedls [1262] zu untersuchen. In dem von den Beziehungen zwischen Land und Meer handelnden Kapitel (Abt. VII, Kap. II) musste der Verwischung altbekannter landschaftlicher Züge in der Folgezeit — man nehme nur den Thermopylenpass [1263] — wiederholt gedacht werden. In der Umgegend Magdeburgs haben nach H. Kluge [1264] seit der Eiszeit vielleicht die ausgedehnten Sumpfaustrocknungen unter der Regierung Friedrichs II. am meisten den Charakter der Landschaft beeinflusst.

Gar manchmal kann Zweifel darüber obwalten, ob man es mit einer Naturbildung oder mit einem Artefakte zu thun habe. Die Kurgane — im Kosakenlande Mohillen — bei Chodsali in Transkaukasien haben nach Roesler [1265] so gewaltige Dimensionen (teilweise mehr denn 500 Schritte im Umfang), dass man zuerst an ihrer künstlichen Entstehung zweifeln möchte, und doch sind diese bollwerkartigen Erhöhungen (korgan, türkisch = Festung) nichts anderes als Grabdenkmäler. In die gleiche Kategorie gehören die brasilianischen Sambaquis (S. 562), unter denen Löfgren [1266] längliche Hügel von 7 m Höhe antraf, welche dem Terrain ihren ganz besonderen Stempel aufdrücken. Im afrikanischen Gneis stösst man, wie G. Kolb [1267] mitteilt, zum öfteren auf Aushöhlungen von so strenge geometrischer Gestalt, dass man ein Werk von Menschenhand darin zu erblicken geneigt ist, und doch liegt — vgl. auch S. 878 — einstweilen kein sicherer Beweis dafür vor. Man würde unschwer noch mehr Belege erbringen können. Die Fabrikthätigkeit der Gegenwart ist ein morphologischer Faktor ersten Ranges; riesige Schlackenhaufen, die vielleicht schon die nächste Generation mit Grün bekleidet sehen wird, können ein völlig ebenes Gelände zu einem kleinen Gebirge umstempeln.

Unter allen Umständen wird also auch die Geschichtschreibung, falls sie ihrer kulturhistorischen Pflichten richtig eingedenk bleibt und mit dem grossen Macaulay [1268] darauf ausgeht, den Epigonen die Vergangenheit thunlichst genau so vor das Auge zu führen, wie sie ersteren selbst erschien, der Beihilfe unserer Disziplin nicht entraten können. Hier ist auch der Punkt gefunden, wo sich Geophysik und Anthropogeographie die Hand reichen. Und damit kann denn auch das systematische Lehrgebäude des ersteren Wissenszweiges, wie es in diesem Werke aufzuführen versucht worden ist, mit dem letzten Schlussteine seines Deckengewölbes gekrönt werden.

[1] Günther, Hylokinese, die Vorläuferin der terrestrischen Morphologie, B. G., III, S. 19 ff. — [2] v. Richthofen, Führer für Forschungsreisende, Berlin 1886. — [3] Neumayr, Erdgeschichte, Leipzig-Wien 1886; 2. Aufl., bes. von Uhlig, ebenda 1895. — [4] Penck, Morphologie der Erdoberfläche, Stuttgart 1894. — [5] Brückner, Die feste Erdrinde und ihre Formen, ein Abriss der allgemeinen Geologie und Morphologie der Erdoberfläche, Wien-Leipzig 1897. — [6] Philippson, Die Morphologie der Erdoberfläche im letzten Jahrzehnt (1885—1894), Z. G., II, S. 512 ff., 557 ff., 626 ff., 688 ff. — [7] Trabucco, Sull' opportunità e convenienza di un corso di geofisica (morfologia terrestre) agli allievi delle facoltà di lettere, quale complemento al corso di geografica generale, Florenz 1898. — [8] Philippson, Die neueren Forschungen und Ansichten über den Bau der Erdkruste, G. Z., I, S. 109 ff., 204 ff. — [9] E. Suess, Die Entstehung der Alpen, Wien 1875. — [10] E. Suess, Das Antlitz der Erde, I, Wien-Prag-Leipzig 1883—85. — [11] E. Kayser, Lehrbuch der allgemeinen Geologie, Stuttgart 1893, S. 112 ff. — [12] De Margerie-Heim, Les dislocations de l'ecorce terrestre; Die Dislokationen der Erdrinde, Zürich 1888. — [13] Günther, Lehrbuch der physikalischen Geographie, Stuttgart 1891, S. 107 ff. — [14] Suess, a. a. O., I, S. 240, 461. — [15] v. Fritsch, Allgemeine Geologie, Stuttgart 1888, S. 110 ff.; E. Kayser, a. a. O., S. 144 ff. — [16] Eldridge, On certain peculiar Structural Flatures in the Foot-Hill Region of the Rocky Mountains near Denver, Colorado, B. P. S. W., XI, S. 271 ff. — [17] Kayser, S. 147. — [18] Neumayr-Uhlig, I, S. 454. — [19] De Margerie-Heim, a. a. O., S. 17. — [20] Ebenda, S. 36; Suess, I, S. 166 ff. — [21] Ebenda, I, S. 481 ff. — [22] H. Meyer, Die grossen Bruchspalten und Vulkane in Aequatorialafrika, D. G. Bl., XVI, S. 105 ff. — [23] Th. Fischer, Palästina; eine länderkundliche Studie, G. Z., II, S. 241 ff. — [24] Th. Fischer, Versuch einer wissenschaftlichen Geographie der Iberischen Halbinsel, P. G. M., XL, S. 249 ff., 277 ff. — [25] De Margerie-Heim, S. 22. — [26] Ebenda, S. 13. — [27] Ebenda, S. 51. — [28] Ebenda, S. 54 ff. — [29] A. Favre, Recherches géologiques sur les Alpes, III, S. 90 ff. — [30] De Margerie-Heim, S. 83. — [31] Ebenda, S. 112. — [32] Ebenda, S. 60. — [33] Suess, I, S. 171. — [34] De Margerie-Heim, S. 26 ff. — [35] Penck, Morphol., I, S. 198. — [36] Hopkins, On the Geological Structure of the Wealden District, T. Gl. S., (2) VII, I, S. 4 ff. — [37] De Margerie-Heim, S. 37. — [38] Bittner, Ueber einige geotektonische Begriffe und ihre Anwendung, J. G. R., 1887, I, S. 397 ff. — [39] De Mar-

gerie-Heim, S. 67. — [40] Ebenda, S. 27 ff. — [41] Ebenda, S. 82; Philippson, a. a. O., S. 115. — [42] Suess, I, S. 149. — [43] Rogers, On the Laws of Structure of the more Disturbed Zones of the Earth's Crust, T. E. S., 1856, S. 442 ff. — [44] De Margerie-Heim, S. 72 ff. — [45] v. Richthofen, a. a. O., S. 607. — [46] De Margerie-Heim, S. 74. — [47] Lossen, Geologische und petrographische Beiträge zur Kenntnis des Harzes, N. J. M. G. P., 1882, I, S. 217 ff. — [48] Suess, I, S. 161. — [49] Wermbter, Der Gebirgsbau des Leinethales zwischen Greene und Banteln, Stuttgart 1890, S. 52. — [50] v. Richthofen, S. 605 ff. — [51] Suess, I, S. 215. — [52] Ebenda, I, S. 545. — [53] De Margerie-Heim, S. 50. — [54] Suess, I, S. 354. — [55] Ebenda, I, S. 725 ff. — [56] Penck, Das Deutsche Reich, Wien-Prag 1887, S. 232; Morph. etc., II, S. 360. — [57] Élie de Beaumont, Sur la corrélation des directions des différents systèmes des montagnes, C. R., XXXI, S. 325 ff. — [58] Suess, I, S. 302 ff. — [59] Ebenda, I, S. 297. — [60] Th. Fischer, Ueber seine Reise im Marokkanischen Atlas, V. G. E. B., XXIV, S. 205. — [61] Suess, I, S. 178. — [62] Ebenda, I, S. 270. — [63] v. Gümbel, Geologie von Bayern, Kassel 1894, S. 461 ff. — [64] Suess, I, S. 351. — [65] Ebenda, I, S. 444 ff. — [66] Ebenda, I, S. 534. — [67] Ebenda, I, S. 591. — [68] Wegener, Versuch einer Orographie des Kwen-lun, Z. G. E. B., XXVI, S. 191 ff. — [69] Suess, I, S. 597 ff. — [70] Ebenda, I, S. 608. — [71] Abich, Vergleichende geologische Grundzüge der kaukasisch-armenischen und nordpersischen Gebirge, A. M. P., (6) VII, S. 361 ff. — [72] Futterer, Vergleichende Charakteristik des Ural und des Kaukasus, V. G. E. B., XXIII, S. 237 ff. — [73] Suess, I, S. 689. — [74] Ebenda, I, S. 707. — [75] Hugues, L'opera scientifica di Cristoforo Colombo, Turin 1892, S. 117 ff. — [76] Suess, I, S. 713 ff. — [77] Suess, Ueber die Asymmetrie der nördlichen Halbkugel, S. A. W., M. N., 1898, S. 89 ff. — [78] Reiter, Die Südpolarfrage und ihre Bedeutüng für die genetische Gliederung der Erdoberfläche, Z. w. G., VI, S. 1 ff. — [79] Tietze, Besprechung hiezu, V. G. R., 1887, S. 125 ff. — [80] Lepsius, Das Mainzer Becken, Darmstadt 1883; Die oberrheinische Tiefebene und ihre Randgebiete, Stuttgart 1885. — [81] Liebe, Die Seebedeckungen Ostthüringens, Gera 1881. — [82] Blanchard-Milne Edwards-Daubrée, Ueber die Entwickelung des Mittelmeeres, A., LV, S. 121 ff.; Professor Hébert über den Zustand des Mittelmeeres in der mittleren und späteren Tertiärzeit, ebenda, LV, S. 172 ff. — [83] Neumayr, Die geographische Verbreitung der Juraformation, D. A. W., M. N., L, S. 132 ff. — [84] v. Ihering, Die Paläogeographie Südamerikas, A., LXVI, S. 11 ff., 26 ff., 41 ff., 54 ff. — [85] Steinmann, A Sketch of the Geology of South America, Am. N., 1891, S. 855 ff. — [86] v. Ihering, a. a. O., S. 55. — [87] F. Hirth, Schantung und Kiaotschóu, B. A. Z., 1898, Nr. 219. — [88] v. Richthofen, China; Ergebnisse eigener Reisen und darauf gegründeter Studien, I, Berlin 1877, S. 24 ff. — [89] v. Richthofen, Führer etc., S. 279. — [90] Kobelt, Studien zur Zoogeographie, I, Wiesbaden 1897, S. 119. — [91] Penck, I, S. 174 ff. — [92] H. Jordan, Beständigkeit oder Unbeständigkeit der Kontinente, H., I, S. 398 ff. — [93] Oppenheim, Die Kontinente und ihre geologische Geschichte, B. A. Z., 1896, Nr. 54. — [94] Dana, General Results of the Earth's Contraction, A. J. S., (2) IV, S. 335 ff. — [95] Lyell, Principles of Geology, I, London 1872, S. 258. — [96] Wyv. Thomson, Geological Changes of Level, N., XXIII, S. 33 ff. — [97] Wallace, Island Life, London 1880, S. 81 ff. — [98] O. Fisher, Physics of the Earth's Crust, London-New York 1889, S. 232 ff. — [99] H. R. Mill, The Permanence of Ocean Bassins, G. J., I, S. 230 ff. — [100] A. Geikie, Geographical Evolution, P. R. G. S., 1879, S. 422 ff; J. Geikie, The Evolution of Climate, Sc. G. M., II, S. 57 ff. — [101] Mellard Reade, Oceans and Continents, Gl. M., (2) VII, S. 385 ff. — [102] Crosby, On the Origin and Relations of Continents and Ocean Basins, ebenda, (2) X, S. 546 ff. — [103] Starkie Gardener, The Fallacy of the Theory of the Permanence of Continents, ebenda, (2) IX, S. 546 ff. — [104] Neumayr-Uhlig, a. a. O., S. 416. — [105] Humboldt, Werke, I (Kosmos), S. 210. — [106] Skalicky, Ueber die Ursachen der ungleichen Land- und Wasserverteilung auf der Erde, G., XIV, S. 293 ff. — [107] Dorr, Ueber das Gestaltungsgesetz der Festlandumrisse und die symmetrische Lage der grossen Landmassen, Liegnitz 1874. — [108] Habenicht, Einige Worte über die gerechte Würdigung astronomischer Beobachtungen bei Lösung geologischer Probleme, Gotha 1881; Grundriss einer exakten Schöpfungsgeschichte, Wien-Pest-Leipzig 1896, S. 75 ff. — [109] v. Zittel, Geschichte der Geologie, München 1899, S. 9. — [110] Serbin, Bemerkungen Strabons über den Vulkanismus und Beschreibung der den Griechen bekannten vulkanischen Gebiete, Erlangen 1893. — [111] Kretschmer, Die physische Erdkunde im christlichen Mittelalter, Wien-Olmütz 1889 (P. G. A., IV, 1), a. v. St. — [112] La composizione del mondo di Ristoro d'Arezzo, ed. Narducci, Rom 1859, S. 78. — [113] A. Girard, Les oeuvres mathématiques de Simon Stevin, Leiden 1634, S. 131 ff. — [114] A. L. Moro, Neue Untersuchungen der Veränderungen des Erdbodens, aus dem Italienischen übersetzt, Leipzig 1751, S. 249 ff. — [115] De la Métherie-Eschenbach, Theorie der Erde, III, Leipzig 1798, S. 1 ff., 39 ff. — [116] Saussure, Reisen durch die Alpen, nebst einem Versuche über die Naturgeschichte der Gegenden um Genf, aus dem Französischen übersetzt, IV, Leipzig 1781, a. v. St. — [117] L. v. Buch, Einige Bemerkungen über die Alpen in Baiern, A. B. A., P. K., 1828, S. 73 ff. — [118] Neumayr-Uhlig, I, S. 352 ff. — [119] Élie de Beaumont, Extrait d'une série de recherches sur quelques-unes des révolutions de la surface du globe, Paris 1835. — [120] v. Zittel, a. a. O., S. 228. — [121] Prevost, Sur le mode de formation des cônes volcaniques et sur celui des chaînes des montagnes, C. R., I, S. 460 ff. — [122] De la Beche, Geological Observer, London 1851; deutsch von C. Hartmann und Dieffenbach, Braunschweig 1853. — [123] v. Zittel, S. 455 ff. — [124] Thurmann, Essai sur les soulèvements jurassiques, Pruntrut 1836; Essai d'orographie jurassique (posthum), Genf 1856. — [125] Rogers, The Geology of Pennsylvania, II, New York 1868, S. 885 ff. — [126] v. Zittel, S. 458. — [127] Dana, Geological Results of the Earth's Contraction, A. J. S., (2) IV, S. 335 ff.; Manual of Geology, New York 1863; 4. Aufl. 1896. — [128] E. Suess, Ueber unterbrochene Gebirgsfaltung, Wien 1886. — [129] A. Heim, Untersuchungen über den Mechanismus der Gebirgsbildung im Anschluss an die geologische Monographie der Tödi-Windgällen-Gruppe, Basel 1878. — [130] H. Hergesell, Die Abkühlung der Erde und die gebirgsbildenden Kräfte, B. G., II, S. 153 ff. — [131] Suess, I, Antlitz etc., S. 142 ff. — [132] Bittner, a. a. O., S. 399 ff. — [133] Penck, Reisebeobachtungen aus Kanada, Wien 1898 (S. V. N. K. W., XXXVIII, 11), S. 13. — [134] Suess, a. a. O., II, S. 677 ff. — [135] Leconte, Structure and Origin of the Mountains, A. J. S., 1878, S. 95 ff. — [136] A. Heim, Zum Mechanismus der Gebirgsbildung, Z. d. G. G., XXXII, S. 262 ff.; Ueber den Mechanismus der Gesteinsumformung bei der Gebirgsbildung, V. N. G. Z., XX, S. 115 ff.; Ueber Stauung und Faltung der Erdrinde, Basel 1878. — [137] v. Czerny, Ueber die Entstehung der Gebirge, D. R. G. St., II, S. 209 ff., 266 ff., 327 ff. — [138] Toula, Die Entstehung der Kettengebirge, A., L, S. 301 ff.; Ueber den Bau und die Entstehung der Gebirge, Wien 1876. — [139] Reusch-Herrmann, Ueber Vulkanismus, Berlin 1883, S. 30. — [140] Stapff, Wie am Monte Piottino die Parallelstruktur des Gneises in Schichtung übergeht, N. J. M. G. P., 1882, S. 75 ff.; Betrachtungen über den Mechanismus der Schichtenfaltung, ebenda 1879, S. 292 ff., 792 ff. — [141] Pilar, Grundzüge der Abyssodynamik, Agram 1881, S. 205 ff. — [142] Bauschinger, Bemerkungen zu einigen Stellen in Heims Untersuchungen über den Mechanismus der Gebirgsbildung, Z. Bw., 1879, S. 269 ff. — [143] Baltzer, Beiträge zur Geognosie der Schweizer Alpen, N. J. G. M. P., S. 462 ff.; Mechanischer Kontakt von

Gneis und Kalk im Berner Oberland, Bern 1880, S. 225 ff. — [144] F. Pfaff, Der Mechanismus der Gebirgsbildung, Heidelberg 1880, S. 121 ff. — [145] Rothpletz, Das geotektonische Problem der Glarner Alpen, Jena 1898, S. III. — [146] Kick, Ueber die ziffermässige Bestimmung der Widerstände und über den Fluss spröder Körper, Z. ö. J. A., 1890, S. 1 ff. — [147] Bittner, S. 411 ff. — [148] v. Richthofen, S. 648 ff. — [149] Suess, I, S. 153 ff. — [150] Schardt, Sur l'origine des Préalpes Romanes, E. Gl. H., 1894, S. 129 ff. — [151] Penck, II, S. 372. — [152] Loewl, Einige Bemerkungen zu Pencks Morphologie der Erdoberfläche, V. G. R., 1894, S. 460 ff. — [153] Heim, Ueber Stauung etc., S. 30 ff. — [154] G. H. Darwin, The Formation of Mountains and the Secular Cooling of the Earth, N., XIX, S. 313. — [155] O. Fisher, The Formation of Mountains, ebenda, XIX, S. 172 ff. — [156] O. Fisher, Physics of the Earth's Crust, London 1889, S. 79 ff. — [157] Wallace-Ransom, The Formation of Mountains, N., XIX, S. 121. — [158] Habenicht, a. a. O., S. 9. — [159] Neumayr-Uhlig, I, S. 362. — [160] J. Hutton, Theory of the Earth, Edinburgh 1795. — [161] Mellard Reade, The Origin of Mountain Ranges, considered experimentally, structurally, dynamically and in Relation to their Geological History, London 1886. — [162] v. Zittel, S. 478. — [163] Reyer, Theoretische Geologie, Stuttgart 1888. — [164] Reyer, Eruptiv- und Gebirgstypen, V. 8. D. G. T., S. 196. — [165] Dutton, On some of the greater Problems of Physical Geology, B. P. S. W., XI, S. 51 ff. — [166] Futterer, Ein Beitrag zur Theorie der Faltengebirge, N. G., I, S. 54 ff. — [167] Ebenda, I, S. 57 ff. — [168] Becker, The Structure of a Portion of the Sierra Nevada of California, B. Gl. S., II, S. 49 ff. — [169] Willis-Hayes, Conditions of Appalachian Faulting, A. J. S., (2) XLXVI, S. 257 ff. — [170] Neumayr-Uhlig, I, S. 386. — [171] Penck, Morph. etc., I, S. 470. — [172] B. Studer, On the slow Elevation and Subsidence of the Switzerland, E. N. P. J., 1831, S. 357 ff. — [173] Rothpletz, Geologisch-paläontologische Monographie der Vilser Alpen, Pg., XXXIII, S. 1 ff., S. 49 ff. — [174] Rothpletz, Das Karwendelgebirge, Z. d. ö. A., XIX, S. 452, 460 ff. — [175] Rothpletz, Geotektonische Probleme, Stuttgart 1894. — [176] v. Hauer, Geologischer Durchschnitt der Alpen von Passau bis Duino, Wien 1857. — [177] Rothpletz, Ein geol. Querschnitt etc., S. 200 ff. — [178] Futterer, a. a. O., S. 164 ff. — [179] Walther, Ueber den Bau von Flexuren an den Grenzen der Kontinente, Jena 1886. — [180] Philippson, S. 225. — [181] G. H. Darwin, On the bodily Tides of viscous and semi-elastic Spheroids and on the Ocean Tides on a yelding Nucleus, P. T., 1879, S. 1 ff; On the Precession of a viscous Spheroid and on the remote History of the Earth, ebenda 1879, S. 447 ff.; Problems connected with the Tides of a viscous Spheroid, ebenda 1879, S. 539 ff. — [182] Neumayr-Uhlig, I, S. 387. — [183] Taylor, On the Crumpling of the Earth's Crust, A. J. S., (3) XXX, S. 249 ff. — [184] Winchell, Sources of Trend an Crustal Surplusage in Mountain Structure, ebenda, (3) XXX, S. 417 ff. — [185] Mather, On the Physical Geology of the United States and some Causes affecting the Sedimentary Formations of the Earth, ebenda, (1) XLIX, S. 284 ff. — [186] v. Petrinò, Die Entstehung der Gebirge, erklärt nach ihren dynamischen Ursachen, Wien 1879. — [187] Wettstein, Die Strömungen des Festen, Flüssigen und Gasförmigen und ihre Bedeutung für Geologie, Astronomie, Meteorologie und Klimatologie, Zürich 1880. — [188] De Lapparent, Traité de géologie, Paris 1893, S. 1563 ff. — [189] v. Drygalski, Ueber Be-Bewegungen der Kontinente zur Eiszeit und ihren Zusammenhang mit den Wärmeschwankungen in der Erdrinde, V. 9. D. G., S. 162 ff. — [190] Rickets, On Subsidence as the Effect of Accumulation, Gl. M., 1872, S. 119 ff. — [191] Rudski, Deformationen der Erde unter der Last des Inlandeises, B. J. A. S. Kr., 1899, S. 169 ff. — [192] Heim, Untersuchungen etc., II, S. 187 ff. — [193] Neumayr, Ketten- und Massengebirge, Z. d. ö. A., XIX, S. 1 ff. — [194] Neumayr-Uhlig, I, S. 340. — [195] Neumayr, Ketten- und Massengeb., S. 13. — [196] v. Richthofen, S. 651 ff. — [197] Ebenda, S. 658. — [198] Ebenda, S. 663 ff. — [199] Supan, Grundzüge der physischen Erdkunde, Leipzig 1896, S. 511. — [200] Penck, Morphol. etc., II, S. 378. — [201] v. Richthofen, S. 678 ff. — [202] Penck, II, S. 318 ff. — [203] Ebenda, III, S. 397 ff. — [204] Penck, Gesetzmässigkeiten der Gebirgsverbreitung, Gl., LVII, S. 33 ff. — [205] Krümmel, Beiträge zur allgemeinen Orographie. A., LV, S. 30 ff. — [206] Kjerulf, Ein Stück Geographie in Norwegen, Z. G. E. B., XIV, S. 129 ff. — [207] Penck, Norwegens Oberfläche, A., LV, S. 109 ff. — [208] Diener, Der Libanon, Wien 1887. — [209] Rothpletz, Stratigraphisches von der Sinaihalbinsel, N. J. M. G. P., 1893, I, S. 102 ff. — [210] Blankenhorn, Die Strukturlinien Syriens und des Roten Meeres, R. F., V. — [211] E. Naumann, Vom Goldenen Horn zu den Quellen des Euphrat, München-Leipzig 1893, S. 367 ff. — [212] Neumayr-Uhlig, I, S. 366 ff. — [213] v. Koenen, Ueber das Verhalten der Dislokationen im nordwestlichen Deutschland, J. p. G. L., 1885, S. 53 ff. — [214] Frech, Die Tribulaungruppe am Brenner in ihrer Bedeutung für den Gebirgsbau, R. F., IV. — [215] Ebenda, S. 103. — [216] Neumayr-Uhlig, S. 370 ff. — [217] Davis, The Triassic Formation of Connecticut, Washington 1898, S. 38. — [218] Hettner, Gebirgsbau und Oberflächengestaltung der sächsischen Schweiz, Stuttgart 1887, S. 86 ff. — [219] Peters, Die relativ festen Punkte in der Erdrinde, I, LIV, S. 272 ff. — [220] Rothpletz, Das Karwendelgebirge, S. 462 ff. — [221] Heimbach, Geologische Neuaufnahme der Farchanter Alpen, München 1895, S. 24. — [222] Heim, Untersuch. etc., I, S. 34 ff.; Begleitworte zur geologischen Karte der Schweiz, XXV, Zürich 1891. — [223] Baltzer, Der Glärnisch; ein Problem alpinen Gebirgsbaus, Zürich 1873. — [224] K. Haushofer, Die Entstehung der Alpen, Z. d. ö. A., XVII, S. 10 ff. — [225] Penck, Morphol., I, S. 374. — [226] Exkursionsprotokoll des Schweizer Feldgeologenvereins, September 1882. — [227] Rothpletz, Die geot. Probleme d. Glarner Alpen, S. 209 ff. — [228] M. Bertrand, Rapports de structure des Alpes de Glaris et du bassin houiller du nord, B. S. Gl. F., (3) XII. — [229] Rothpletz, a. a. O., S. 212 ff. — [230] Rothpletz, Geot. Probl., S. 61 ff., 101 ff., 110 ff., 137 ff., 142 ff. — [231] Ebenda, S. 85 ff. — [232] Callaway, The Precambrian Rocks of Shropshire, Q. J. G. S., XXXV, S. 643 ff. — [233] Lapworth, The Secret of the Highlands, Gl. M., (2) X, S. 120 ff., 193 ff, 337 ff. — [234] Rothpletz, a. a. O., S. 90. — [235] v. Branco, Besprechung zu Rothpletz, N. R., XIV, Nr. 23. — [236] v. Richthofen, Geognostische Beschreibung von Predazzo, St. Cassian und der Seisser Alp, Gotha 1860. — [237] v. Mojsisovics, Die Dolomitriffe von Südtirol und Venetien, Wien 1879. — [238] Neumayr-Uhlig, I, S. 620; II, S. 201 ff. — [239] Langenbeck, Die neueren Forschungen über die Korallenriffe, G. Z., III, S. 634 ff. — [240] v. Gümbel, Das Mendel- und Schlerngebirge, S. A. M., M. P., 1873, S. 14 ff. — [241] Miss Ogilvie, Coral in the Dolomites of South Tirol, Gl. M., 1894, S. 1 ff., 48 ff. — [242] Rothpletz, Der geol. Querschn. etc., S. 45. — [243] v. Mojsisovics, a. a. O., S. 493. — [244] Rothpletz, a. a. O., S. 52. — [245] Langenbeck, Die Theorien über die Entstehung der Koralleninseln und Korallenriffe und ihre Bedeutung für geophysische Fragen, Leipzig 1890, S. 82. — [246] Rothpletz, S. 59 ff. — [247] Ebenda, S. 65. — [248] Langenbeck, Die neueren Forschungen etc., S. 639; N. J. M. G. P., 1895, I, S. 113 ff. — [249] Langenbeck, Die neueren Forschungen etc., S. 641. — [250] Frech, Die Karnischen Alpen, ein Beitrag zur vergleichenden Gebirgstektonik, Halle a. d. S. 1892, S. 409 ff. — [251] Frech, Die Gebirgsformen im südwestlichen Kärnten und ihre Entstehung, Z. G. E. B., XXVII, S. 349 ff. — [252] Diener, Der Gebirgsbau der Westalpen, Wien 1891. — [253] Schrader-De Margerie, Aperçu de la structure géologique des Pyrenées, Paris 1892. — [254] Griesbach, Report on the Geology of

the Section between the Bolan Pass in Biluchistan and Giristek in Southern Afghanistan, M. G. S. J., 1881, S. 1 ff.; Memoirs of the Indian Geological Survey, 1888, 1891. — [255] Günther, Experimentelle Geologie, A., LXVI, S. 385 ff., 403 ff. — [256] Daubrée-Gurlt, Synthetische Studien zur Experimentalgeologie, Braunschweig 1880. — [257] Reyer, Geologische und geographische Experimente, Wien 1892. — [258] J. E. Silberschlag, Geogenie oder Erklärung der mosaischen Erderschaffung nach physikalischen und mathematischen Grundsätzen, II, Berlin 1780, S. 122 ff. — [259] J. Hall, Experiments on Winstone and Lava, T. E. S., 1805, S. 43 ff.; On the vertical Position and Convolution of certain Strata, another Relations with Granit, ebenda, 1815, S. 79 ff.; On the Consolidation of the Strata of the Earth, ebenda, 1825, S. 314 ff. — [260] G. Bischof, Die Wärmelehre des Inneren unseres Erdkörpers, ein vollständiger Inbegriff aller mit der Wärme in Beziehung stehenden Erscheinungen in und auf der Erde, nach physikalischen, chemischen und geologischen Untersuchungen, Leipzig 1835; Gesetz der Temperaturabnahme nach dem Erdinneren, A. P. C., XXXV, S. 209 ff. — [261] F. Pfaff, Allgemeine Geologie als exakte Wissenschaft, Leipzig 1873, S. 303 ff. — [262] A. Favre, Formation of Mountains, N., XIX, S. 103 ff. — [263] v. Czerny, a. a. O., S. 333. — [264] Daubrée, Expériences sur les déformations que subit l'enveloppe solide d'un sphéroïde fluide, soumis à des effets de contraction, applications aux dislocations du globe terrestre, C. R., CX, S. 983 ff., 1017 ff. — [265] Daubrée, Expériences sur la schistosité des roches et sur les déformations des fossiles corrélatives de ce phénomène, B. S. Gl. F., 26. Juni 1876; Reusch, Fossilführende Schiefer von Christiania, Leipzig 1883. — [266] Spring, Recherches sur les propriétés des corps solides de la fondre par l'action de la pression, B. A. B., (2) LXIX, S. 323 ff. — [267] Daubrée, Expériences sur les actions mécaniques exercées sur les roches, par des gaz doués d'une très-forte pression et d'un mouvement rapide, C. R., CXI, S. 767 ff., 857 ff. — [268] Stapff, Was kann das Studium der dynamischen Geologie im praktischen Leben nützen, besonders in der Berufsthätigkeit des Bauingenieurs? Berlin 1893, S. 7; Z. p. G., 1893, 12. Heft. — [269] Reyer, a. a. O., I, S. 5 ff. — [270] Ebenda, I, S. 9. — [271] Günther, a. a. O., S. 406. — [272] Schardt, Études sur le Pays d'Enhaut, B. S. V., 1884, S. 413 ff. — [273] Cadell, Experiments in Mountain-Building, N., XXXVII, S. 488 ff. — [274] Willis, The Mechanics of Appalachian Structure, A. R. U. S. G. S., XIII. — [275] v. Zittel, S. 470. — [276] v. Richthofen, Führer etc., S. 527. — [277] E. Kayser, a. a. O., I, S. 431. — [278] Daubrée-Gurlt, a. a. O., S. 230 ff. — [279] Ebenda, S. 267 ff. — [280] v. Lasaulx, Die Spalten in den Gesteinen, H., II, S. 133 ff. — [281] Stapff, Eine zerbrochene Fensterscheibe, Gf., 1893, Nr. 26, S. 1 ff. — [282] v. Lasaulx, a. a. O., S. 138. — [283] Ovidius, Ex Ponto, IV, 10, 5; Fragmenta Epic. Graec., ed. Kinkel, I, S. 271. — [284] v. Richthofen, S. 87 ff., 456 ff. — [285] Penck, I, S. 202 ff. — [286] A. Heim, Ueber die Verwitterung im Gebirge, Basel 1879. — [287] Senft, Fels und Erdboden; die Lehre von der Entstehung und Natur des Erdbodens, München 1876. — [288] Senft, Gesteinschutt und Erdboden, Berlin 1867, Lehrbuch der Gesteins- und Bodenkunde, ebenda 1877 (2. Aufl. des vorigen). — [289] Henkel, Pyritologia oder Kieshistorie, Leipzig 1825, S. 867. — [290] v. Richthofen, S. 99. — [291] Wollny, Die Zersetzung der organischen Stoffe und die Humusbildungen mit Rücksicht auf die Bodenkultur, Heidelberg 1897. — [292] Philippson, Die Humusbildung nach Wollny, G. Z., III, S. 287 ff. — [293] Wohltmann, Die natürlichen Faktoren der tropischen Agrikultur und die Merkmale ihrer Beurteilung, Leipzig 1892, 123 ff. — [294] Ebenda, S. 127. — [295] v. Richthofen, S. 729. — [296] Penck, I, S. 208. — [297] Heim, a. a. O., S. 8. — [298] Abich, Die Fulguriten im Andesit des Kleinen Ararat, nebst Bemerkungen über örtliche Einflüsse bei der Bildung elektrischer Gewitter, S. A. W., M. N., 1870, S. 153 ff. — [299] v. Richthofen, S. 336. — [300] O. Lehmann, Molekularphysik mit besonderer Berücksichtigung mikroskopischer Untersuchungen, I. Leipzig 1888, S. 529 ff. — [301] Bütschli, Ueber den Bau quellbarer Körper und die Bedingungen der Quellung, Göttingen 1896. — [302] Ebenda, S. 55. — [303] v. Richthofen, S. 292 ff. — [304] Rumford, An Inquiry concerning the Nature of the Heat and the Mode of its Communication, P. T., 1804, S. 77 ff.; G. A. P., XVII, S. 33 ff., 213 ff. — [305] Becquerel, De la température des couches terrestres au-dessous du sol, A. s. p. n., 1865, S. 88 ff.; Mémoire sur la distribution de la chaleur et sur ses variations dans le terrain Parisien, C. R., LXIV, S. 382 ff. — [306] Bartlett, Experiments on the Expansion and Contraction of Building Stones by Variation of the Temperature, A. J. S., (1) XXII, S. 136 ff. — [307] Adie, On the Expansion of different Kinds of Stone from an Increase of Temperature, T. E. S., XIII, S. 354 ff. — [308] Mellard Reade, a. a. N., S. 109 ff. — [309] G. Stadler, Bestimmung des absoluten Wärmeleitungsvermögens einiger Gesteine, Zürich 1889. — [310] J. Walther, Die Korallenriffe der Sinaihalbinsel, Leipzig 1888, S. 7 ff. — [311] Penck, I, S. 306. — [312] O. Fraas, Aus dem Orient; geologische Beobachtungen am Nil, Stuttgart 1867, S. 7 ff. — [313] v. Richthofen, S. 96. — [314] C. Lang, Heat-Capacity of Soils, J. Ch. Sc., XXXVI, S. 958; Neue Versuche über das hygroskopische Verhalten von Baumaterialien bei Temperaturen über und unter Null, Z. B., XVI, S. 443 ff. — [315] Blümcke, Ueber die Bestimmung der Frostbeständigkeit von Mineralien, Z. Bw., 1887, S. 103 ff., 479 ff. — [316] Assmann, Ueber die Mitwirkung von Rauhreif und Glatteis bei der Abtragung von Gesteinsmassen in den Gebirgen, N. R., II, Nr. 47. — [317] v. Gümbel, a. a. O., S. 460. — [318] J. Roth, Lehrbuch der allgemeinen und chemischen Geologie, III, Berlin 1893, S. 213 ff. — [319] Supan, a. a. O., S. 343. — [320] Müntz, Sur la nitrification atmosphérique, C. R., XCV, S. 243 ff.; Sur les origines de l'azote combiné existant à la surface de la terre, ebenda, XCVII, S. 240 ff. — [321] Pape, Ueber das Verwitterungsellipsoid wasserhaltiger Krystalle, A. P. C., CXXIV, S. 329 ff.; CXXV, S. 513 ff. — [322] Hübler, Ueber die sogenannten Opfersteine des Isergebirges; eine archäologisch-geologische Untersuchung, Reichenberg 1882. — [323] Penck, I, S. 214. — [324] Wadsworth, Some Instances of Atmospheric Action in Sandstone, P. S. N. H. B., 1883, S. 202 ff. — [325] Martins, Note sur les érosions des roches calcaires dues aux agents atmosphériques, B. S. Gl., (2) XII, S. 315 ff. — [326] Penck, I, S. 216. — [327] Ormerod, On the Rock-Bassins in the Granite of Dartmoor District (Devonshire), Q. J. G. R., XV, S. 16 ff. — [328] Endlich, On some striking Products of Erosion in Colorado, B. U. S. G. S., 1878, S. 831 ff. — [329] A. Heim, Einiges über die Verwitterungsformen der Berge, Zürich 1874. — [330] Schütze, Ueber Verwitterungsvorgänge bei krystallinischen und sedimentären Gesteinen, I, Berlin 1886; II, Erlangen 1890. — [331] Penck, II, S. 66. — [332] Baltzer, a. a. O., S. 11. — [333] Penck, II, S. 305. — [334] C. Gruber, Ueber das Quellgebiet der Isar; orographische und hydrographische Studien aus dem mittleren Karwendel, München 1887, S. 6 ff. — [335] C. Gruber, Ueber das Quellgebiet der Isar, J. G. G. M., XII, S. 16 ff. — [336] C. Richter, Kare und Hochseen, V. N. V., 1894, II, 1, S. 252 ff. — [337] Ebenda, S. 256. — [338] Ruith, Die Hochpyrenäen, J. G. G. M., I, S. 69 ff. — [339] Ramond, Voyages au Mont Perdu, Paris 1801, S. 236. — [340] Ami Boué, Ueber die äusseren Formen der Erdoberfläche und ihre Ursachen, S. A. W., M. N., 1849, S. 267; v. Boehm, Ami Boué und die Vellacher Kožna, M. d. ö. A., 1895, Nr. 11. — [341] Penck, II, S. 309 ff. — [342] Helland, Om Botner og Säkkedale samt deres Betydning for Theorier om Dalens Dannelse, Gl. F. F. St., II, S. 286 ff. — [343] Penck, Die Eiszeit in den Pyrenäen, M. V. E. L., 1883, S. 218 ff. — [344] Penck, Morphol. etc., II, S. 312. — [345] E. Richter, Geomorphologische Beobachtungen aus Norwegen, S. A. W., M. N., CV, 1, S. 147 ff. — [346] Chaix,

Contributions à l'étude des lapiés; la topographie du Désert du Platé, L. G., 1895, S. 67 ff. — [347] Eckert, Das Karrenproblem; die Geschichte seiner Lösung, Z. g. Nw., LXVIII, S. 321 ff. — [348] Ebenda, S. 329. — [349] v. Gümbel, S. 228. — [350] Ebenda, S. 82. — [351] F. Simony, Die erosierenden Kräfte im Alpenlande, J. ö. A. V., VII, S. 29 ff., 41 ff.; Beiträge zur Physiognomik der Alpen, Z. w. G., V, S. 33 ff. — [352] F. Simony, Das Dachsteingebiet; ein geographisches Charakterbild aus den österreichischen Nordalpen, I, Wien, 1889, a. v. St. — [353] Eckert, a. a. O., S. 333. — [354] F. Keller, Bemerkungen über die Karren oder Schratten, romanisch Lapiaz, in den Kalkgebirgen, Zürich 1840. — [355] Agassiz, Études sur les glaciers, Neuenburg 1848, S. 295 ff. — [356] Ratzel, Ueber Karrenfelder im Jura und Verwandtes, Leipzig 1891. — [357] Cvijić, Das Karstphänomen, Wien 1893 (P. G. A., V, 3), S. 80 ff. — [358] Philippson, Der Peloponnes, S. 503. — [359] Hassert, Beiträge zur physischen Geographie von Montenegro, mit besonderer Berücksichtigung des Karstes, P. G. M., E. G. Nr. 115, S. 78 ff. — [360] Diener, Der Libanon, S. 211 ff. — [361] Eckert, S. 418. — [362] Ebenda, S. 331 ff. — [363] Lyell, Principles, I, S. 396. — [364] Eckert, S. 373. — [365] Heim, Ueber Verwitt. etc., S. 14 ff. — [366] Heim, Handbuch der Gletscherkunde, Stuttgart 1885, S. 406. — [367] v. Richthofen, S. 104. — [368] Rothpletz, Das Diluvium um Paris, D. S. N. G., 1881, S. 46 ff. — [369] Penck, Morphol., I, S. 326. — [370] Eckert, S. 399. — [371] Fugger, Der Untersberg; wissenschaftliche Beobachtungen und Studien, Z. d. ö. A., XI, S. 67 ff., 93 ff. — [372] Eckert, S. 388 ff. — [373] Sieger, Karstformen der Gletscher, G. Z., I, S. 182 ff. — [374] Ebenda, S. 196 ff. — [375] Penck, I, S. 239 ff. — [376] F. Naumann, Lehrbuch der Geognosie, II, Leipzig 1872, S. 213. — [377] Hederich, Goethe und die physikalische Geographie, München 1898 (M. G. St., V), S. 45 ff. — [378] Goethes sämtliche Werke in 40 Bänden, XL, Stuttgart 1858, S. 277 ff., 356 ff. — [379] v. Gümbel, S. 528. — [380] Ch. Darwin-Carus, Reise eines Naturforschers um die Welt, Stuttgart 1893, S. 213 ff. — [381] Kuntze, Geogenetische Beiträge, Leipzig 1895, S. 15. — [382] Katzer, Geologie von Böhmen, Prag 1891, S. 1248 ff. — [383] Abildgard, Eine merkwürdige Veränderung auf der Oberfläche der Erde in Finnland, A. s. A. W. K., XIX, S. 215 ff.; Tilas, Anmerkungen über vorhergehenden Aufsatz, ebenda, XIX, S. 219 ff. — [384] Hettner, a. a. O., S. 46 ff. — [385] v. Richthofen, S. 461. — [386] Neumayr-Uhlig, I, S. 493, 523. — [387] Penck, I, S. 219 ff. — [388] Thoulet, Études expérimentales sur l'inclinaison des talus de matière meubles, C. R., CIV, S. 1537 ff. — [389] Forchheimer, Ueber Sanddruck und Bewegungserscheinungen im Inneren trockenen Sandes, Z. ö. J. A., 1882, S. 111 ff.; 1883, S. 113 ff. — [390] Loewe, Alte und neue Versuche über Reibung und Kohäsion von Erdarten, München 1872. — [391] Kerr, On the action of Frost in the Arrangement of superficial Earthy Material, A. J. S., (3) XXI, S. 345 ff. — [392] Tagebuch meiner Reise um die Erde 1892—93, I, Wien 1893, S. 31. — [393] v. Richthofen, S. 110 ff. — [394] Ebenda, S. 463. — [395] v. Fritsch, a. a. O., S. 280 ff. — [396] Pechuel-Lösche, Westafrikanische Laterite, A., LVII, S. 401 ff. — [397] v. Richthofen, S. 365. — [398] Ebenda, S. 477 ff. — [399] Ebenda, S. 484. — [400] Kostytschew, Die Bodenarten des Tschernosem, St. Petersburg 1886. — [401] Wollny, a. a. O., a. v. St. — [402] Der Notstand in Russland; ein Beitrag zur Kulturgeographie der Gegenwart, A., LXV, S. 81 ff., 97 ff. — [403] v. Richthofen, S. 460. — [404] Ebenda, S. 485. — [405] Florschütz, Der Löss, J. N. V. Nk., XLVII, S. 123 ff. — [406] Boemer, Ueber Lössbildungen und deren Bedeutung für die Pflanzenkultur; eine agrikulturchemische Studie, München 1889. — [407] Lyell, I, S. 329 ff. — [408] Kittler, Ueber die geographische Verbreitung und Natur der Erdpyramiden, München 1897 (M. G. St., III). — [409] v. Fritsch, S. 303 ff. — [410] Kittler, a. a. O., S. 47. — [411] Ebenda, S. 9. — [412] Ebenda, S. 20 ff. — [413] Rabl, Die Erdpyramiden von Gödnach-Görtschach, Oe. T., 1884, S. 149 ff. — [414] Rohrer, Abriss der westlichen Provinzen des österreichischen Staates, Wien 1804, S. 177. — [415] W. C. W. Blumenbach, Neuestes Gemälde der österreichischen Monarchie, I, Wien 1837, S. 382 ff. — [416] B. Weber, Das Land Tirol, II, Innsbruck 1838, S. 212; Die Stadt Bozen und ihre Umgebungen, Bozen 1849, S. 317. — [417] Schmidl, Das Kaisertum Oesterreich, I, 1, S. 9, 66. — [418] Schaubach, Die deutschen Alpen, II, Jena 1845, S. 40; IV, ebenda 1846, S. 69, 110 ff. — [419] v. Cotta, Geologische Briefe aus den Alpen, Leipzig 1850, S. 215 ff. — [420] Kittl, Erdpyramiden, M. S. N. ö. T. K., IX, Nr. 1. — [421] Saussure, Voyages dans les Alpes, VIII, Neuenburg 1796, S. 11 ff. — [422] La Grande Encyclopédie, XVIII, S. 1041. — [423] Kittler, S. 26. — [424] Supan, S. 451. — [425] Falsan, La période glaciaire dans les Alpes, Paris 1889, S. 64 ff. — [426] A. Favre, a. a. O., S. 35. — [427] Salmoiraghi, Le piramidi di erosione ed i terreni glaciali di zone; contribuzione alla geologia del Lago d'Iseo, Rom 1885. — [428] Penck, I, S. 234. — [429] Toula, Eine geologische Reise in die Transsylvanischen Alpen Rumäniens, Wien 1897 (S. V. V. n. K., XXXVII, 6), S. 24; Eine geologische Reise in das südliche Randgebirge der Taurischen Halbinsel, Z. d. G. G., XLIX, S. 414; Reisen und geologische Untersuchungen in Bulgarien, Wien 1890 (S. V. V. n. K., XXX, 16), S. 16 ff. — [430] Lecoq, Des glaciers et des climats ou des causes atmosphériques en géologie, Paris-Strassburg 1847, S. 263. — [431] van Calker, Ueber das Vorkommen von Erdpyramiden im Schwarzwald, N. J. M. G. P., 1896, I, S. 83 ff. — [432] Szúlyó, Malerische Reise auf dem Waagflusse in Ungarn, Budapest 1844, S. 113 ff.; Kittler, S. 28 ff. — [433] H. Schlagintweit, Reisen in Indien und Hochasien, III, Jena 1872, S. 112 ff. — [434] Brückner, a. a. O., S. 203. — [435] Diener, Schneegrenze und Gletscher im zentralen Himálaya, D. R. G. St., XVI, S. 145 ff. — [436] v. Ledebour, Reise durch das Altaigebirge und die Soongorische Kirgisensteppe, I, Berlin 1829, S. 332. — [437] v. Helmersen, Reise nach dem Altai, im Jahre 1834 ausgeführt, St. Petersburg 1848, S. 72, 103. — [438] Abich, Geologische Beobachtungen auf Reisen in den Gebirgsländern zwischen Kur und Araxes, Tiflis 1867, S. 29. — [439] Fournier, Description géologique du Caucase Central, Marseille 1896, S. 48. — [440] Die wissenschaftlichen Ergebnisse der Reise des Grafen Bela Széchenyi in Ostasien 1877—1880, I, Wien 1863, S. 565. — [441] Sjoegren, Ueber das transkaspische Naphthaterrain, V. G. R., XXXVII, 1, S. 50 ff. — [442] E. Naumann, a. a. O., S. 224 ff. — [443] R. Oberhummer-Zimmerer, Durch Syrien und Kleinasien; Reiseschilderungen und Studien, Berlin 1899, S. 120 ff. — [444] H. O. Forbes-Teuscher, Wanderungen eines Naturforschers im Malayischen Archipel, II, Jena 1886, S. 139. — [445] Kittler, S. 33. — [446] Pechuel-Lösche, Westafr. Later., S. 403 ff.; Die Loango-Expedition, III, Leipzig 1882, S. 39; Holub, Sieben Jahre in Südafrika, I, Wien 1881, S. 16. — [447] Hayden, A. R. U. S. G. S., 1872, S. 37 ff.; 1873, S. 32 ff.; 1874, S. 43. — [448] Chamberlin-Salisbury, Preliminary Paper on the Driftless, Area of the Upper Mississippy Valley, ebenda 1884/85, S. 236 ff. — [449] Endlich, On Erosion etc., S. 840 ff. — [450] v. Richthofen, S. 160. — [451] Felix, Geologische Reiseskizzen aus Nordamerika, F. Ky., XXV, S. 76. — [452] Sievers, Die Kordillere von Mérida, nebst Bemerkungen über das Karibische Gebirge, Wien-Olmütz 1888 (P. G. A., III, 1), S. 17. — [453] Hettner, Die Kordillere von Bogotá, P. G. M., E. H. Nr. 103, S. 61. — [454] Kuntze, a. a. O., S. 6; Um die Erde; Reiseberichte eines Naturforschers, Leipzig 1888, S. 79. — [455] J. Walther, Lithogenesis der Gegenwart, Jena 1894, S. 735. — [456] Kükenthal, Forschungsreise in das europäische Eismeer, Bremen 1890, S. 80. — [457] Kittler, S. 39. — [458] Torell-Nordenskiöld-Passarge, Die schwedischen Expeditionen nach Spitzbergen und Bären-Eiland in den Jahren 1861, 1864 und 1868, Jena 1869, S. 289. — [459] F. Simony, Das Dachsteingeb., S. 107; Tafel XCII. —

[460] v. Gümbel, Gletschererscheinungen aus dem Etsch- und Innthale, S. A. M., M. P., 1872, S. 248 ff. — [461] Ratzel, Ueber die Entstehung der Erdpyramiden, J. G. G. M., VI, S. 77 ff. — [462] Kittler, S. 45. — [463] Pechuel-Lösche, Westafr. Later., S. 401 ff. — [464] Kuntze, Um die Erde, S. 361. — [465] Kittler, S. 51. — [466] Philippson, Besprechung zu Kittler, G. Z., III, S. 650. — [467] Penck, I, S. 317. — [468] Philippson, Die Morphol. etc., S. 566. — [469] Beiträge zur Hydrographie des Grossherzogtums Baden, III, Karlsruhe 1885, S. 32 ff. — [470] Der Wasserbau an den öffentlichen Flüssen in Bayern, München 1885, S. 185. — [471] G. R. Gilbert, Report on the Geology of the Henry Mountains, Washington 1877, S. 112 ff. — [472] Philippson, Ein Beitrag zur Erosionstheorie, P. G. M., XXXII, S. 67 ff. — [473] Dutton, Tertiary History of the Grand Cañon, Washington, 1882, S. 76. — [474] Oppikofer, Gefällsverteilung mehrerer schweizerischer Flüsse, D. Ei., XIV, S. 36 ff., 103 ff. — [475] Zollikofer, Bassin hydrographique du Po, B. S. V., 1857, S. 267 ff.; Trautweiler, Die natürlichen Gefällsverhältnisse der Flüsse, G., XIX, S. 449 ff. — [476] Wey, Zur Zykloidentheorie des Herrn Oppikofer, D. Ei., XIV, S. 78 ff. — [477] Penck, I, S. 327. — [478] Penck, Ueber Denudation der Erdoberfläche, Wien 1887 (S. V. V. n. K., XXVII, 6), S. 10 ff. — [479] Hilber, Erosionsbasis und Meeresverschiebungen, Z. w. G., VI, S. 201 ff.; VII, S. 286 ff. — [480] E. Geinitz, Die Seen, Moore und Flussläufe Mecklenburgs, Güstrow 1886, S. 4. — [481] Penck, I, S. 313. — [482] v. Fritsch, S. 314 ff. — [483] K. Schneider, Studien über Thalbildung in der Vordereifel, XVIII, S. 27 ff. — [484] Penck, I, S. 245, 312. — [485] Supan, S. 341. — [486] Milne, Across Europa and Asia; Travelling Notes, Gl. M., 1878, S. 64 ff. — [487] Loewl, Ueber Thalbildung, Prag 1884. — [488] v. Richthofen, S. 139 ff. — [489] Ebenda, S. 144. — [490] Supan, S. 396. — [491] K. J., III, S. 230. — [492] Penck, II, S. 123. — [493] v. Richthofen, S. 147. — [494] Krümmel, a. a. O., S. 30 ff. — [495] Penck, I, S. 315. — [496] J. Walther, Die Denudation in der Wüste, Leipzig 1891, S. 249. — [497] Penck, I, S. 254 ff. — [498] Thoulet, Expériences synthétiques des roches, C. R., CIV, S. 381 ff. — [499] J. Walther, Die nordamerikanischen Wüsten. V. G. E. B., XIX, S. 32 ff. — [500] Zittel, Ueber den geologischen Bau der Libyschen Wüste, München 1880. — [501] Penck, I, S. 258. — [502] v. Richthofen, S. 438 ff. — [503] Mickwitz, Die Dreikanter, ein Produkt des Flugsandschliffes, St. Petersburg 1886. — [504] J. Walther, Die Entstehung von Kantengeröllen in der Galalawüste, S. s. G. W., M. P., XXXIX, S. 133 ff. — [505] Frejlach, Ueber einige geologisch-aërodynamische Erscheinungen in der Umgebung Prags, V. K. C. S. N., 1895, XXI. — [506] Prinz, L'échelle réduite des expériences géologiques permet-elle leur application aux phénomènes de la nature? Brüssel 1897, S. 30 ff. — [507] Lullies, Geographische Reisen in Asien während der Jahre 1876 bis 1882, W. G. J., IX, S. 591. — [508] Walther, Die Denud. etc., S. 68. — [509] Pechuel-Lösche, Zur Kenntnis des Hererolandes, A., LIX, S. 823 ff. — [510] R. Credner, Die Moënfahrt der Geographischen Gesellschaft zu Greifswald am 4. bis 6. Juni 1895, Greifswald 1895, S. 6 ff. — [511] Kraus, Zur Geologie des böhmisch-sächsischen Grenzgebirges, St. W., VII, S. 144 ff. — [512] Walther, Die Denud., S. 66 ff. — [513] Loew, Ein geologischer Spaziergang durch Neu-Mexiko und Arizona, J. G. G. M., VI, S. 44. — [514] Kinahan, Valleys and their Relations to Fissures, Fractions and Faults, London 1875, S. 83. — [515] Neumayr-Uhlig, I, S. 458. — [516] Contejean, Sur les érosions éoliennes, C. R., CVIII, S. 1208. — [517] Neumayr-Uhlig, I, S. 582. — [518] v. Richthofen, S. 440 ff. — [519] Penck, Die Vergletscherung der deutschen Alpen, ihre Ursachen, periodische Wiederkehr und ihr Einfluss auf die Bodengestaltung, Leipzig 1882, S. 1 ff. — [520] Siegfried, Geschichtliche Notizen über die Gletschertheorie, J. S. A., 1875, S. 584 ff. — [521] Venetz, Sur la cause probable du transport des blocs eratiques de la Suisse, A. M., (3) VIII, S. 319 ff.; M. G. th. E., 1836, S. 482 ff. — [522] Penck, a. a. O., S. 34 ff. — [523] Ebenda, S. 368 ff. — [524] v. Boehm, Die alten Gletscher der Ems und Steyer, V. G. R., XXV, S. 531 ff. — [525] Penck, Geographische Wirkungen der Eiszeit, V. 4. D. G., S. 66 ff. — [526] Zoeppritz, Die Fortschritte der Geophysik, W. G. J, X, S. 28 ff. — [527] Oldham, On the Modulus of Cohesion of Ice, and its Baaring on the Theory of Glacial Motion, P. M., 1879, II, S. 240 ff. — [528] Penck, Die Vergletscherung etc., S. 378 ff. — [529] Odin, Essai d'un application des principes de la mécanique à l'écoulement des glaciers, Lausanne 1888. — [530] Fortschritte der Physik, Z. P. M., I, S. 86 ff. — [531] Penck, S. 380. — [532] Finsterwalder-Blümcke, Zur Frage der Gletschererosion, S. A. M., M. P., 1890, S. 435 ff. — [533] Finsterwalder, Wie erodieren die Gletscher? Z. d. ö. A., XXII, S. 85. — [534] Blümcke, Einiges über die Vorgänge am Untergrunde der Gletscher, A., LXVI, S. 817 ff. — [535] Heim, Handbuch etc., S. 383 ff. — [536] Günther, Lehrbuch der Geophysik und physikalischen Geographie, II, Stuttgart 1885, S. 556 ff. — [537] Baltzer, Studien am Unter-Grindelwaldgletscher über Glazialerosion, Längen- und Dickenveränderung in den Jahren 1892 bis 1897, D. S. N. G., XXXIII, Nr. 2. — [538] Brückner, Ueber die Geschwindigkeit der Gebirgsbildung und der Gebirgsabtragung, H. E., VI, S. 1 ff. — [539] G. Karsten, Ueber die Wirkungen kleiner Niveauveränderungen durch die atmosphärischen Niederschläge, S. N. V. S. H., IX, 2. Heft. — [540] Graf, Der Kanderdurchstich im Berner Oberland, Schw. R., 1892, II, S. 181 ff. — [541] Steck, Die Denudation im Kandergebiete, Bern 1893. — [542] Brückner, a. a. O., S. 21. — [543] Forel, Le Léman; monographie limnologique, I, Lausanne 1892, S. 376. — [544] A. Heim, Die Erosion im Gebiete der Reuss, J. S. A., XIV, S. 388 ff. — [545] Penck, Morphol., etc., S. 316. — [546] Penck, I, S. 244 ff. — [547] Reyer, Ueber die Bewegung loser Massen und ihre Rolle bei der Modellierung der Erdoberfläche, G., XVIII, S. 277 ff. — [548] Boussinesq, Essai théorique sur l'équilibre des massifs pulvérulents comparé à celui de massifs solides et sur la poussée des terres sans cohésion, M. c. A. B., XI, Brüssel 1876. — [549] G. H. Darwin, On the horizontal Thoust of a Mass of Sand, P. J. Eg., LXXI, Nr. 1. — [550] Penck, I, S. 223. — [551] J. Geikie, Mountains: their Origin, Growth and Decay, Sc. G. M., II, S. 156. — [552] A. Heim, Ueber Bergstürze, Zürich 1882. — [553] Rothpletz, Zur Mechanik der Bergstürze, Z. d. G. G., XXXII, S. 430 ff.; XXXIII, S. 540. — [554] Pollack, Beiträge zur Kenntnis der Bodenbewegungen, J. G. R., 1882, S. 565 ff. — [555] Ebenda, S. 584. — [556] Hartung, Das alte Bergsturzgebiet von Flims, Z. G. E. B., XIX, 161 ff.; A. Heim, Der alte Bergsturz von Flims, J. S. A., XVIII, S. 295 ff. — [557] Dante, Inferno, XII. Gesang, Vers 4 ff.; Nottersche Ausgabe, Stuttgart 1871, S. 222. — [558] Suda, Die Lavini di Marco im Etschthale, Z. d. ö. A., XVII, S. 95 ff. — [559] Benecke, Ueber Trias und Jura in den Südalpen, München 1866, S. 23. — [560] Penck, Die Slavini di San Marco bei Rovereto, M. G. G. W., 1866, S. 395 ff. — [561] A. Heim, Der diluviale Bergsturz von Glärnisch-Guppen, V. N. G. Z., XL, S. 1 ff. — [562] Stillfried, Naturereignisse im Schweizerlande, A. N. W., XVI, S. 684 ff. — [563] Ebenda, S. 621 ff. — [564] Hoernes, Erdbebenkunde, Leipzig 1893, S. 419 ff. — [565] Tarnuzzer, Der Bergsturz von Airolo und Bergstürze in den Schweizer Alpen, U., III, S. 101 ff. — [566] Regel, Thüringen, ein geographisches Handbuch, I, Jena 1892, S. 309 ff. — [567] K. Schmid, Der Bergrutsch am Dohlenstein bei Kahla, Halle a. d. S. 1881. — [568] Angersbach, Der Felssturz im Königenthale bei Rambach, A. V. N. Kl., XLI, S. 40 ff. — [569] Zay, Goldau und seine Gegend, Zürich 1807. — [570] Feer, Beschreibung des Bergfalles, welcher den 2. September 1806 das Thal zwischen dem Lowerzer- und Zuger-See im Canton Schwyz in Helvetien verschüttete, M. K. E. H., XV, S. 162 ff., 518 ff. — [571] Würth, Spaziergang an das

Mittelmeer, I, Nürnberg 1829, S. 43. — [572] Buss-Heim, Der Bergsturz von Elm, Zürich 1881; The Landslip of Elm, N., XXIV, S. 505 ff. — [573] Zillner, Geschichte der Stadt Salzburg, I, Salzburg 1885, a. v. St. — [574] Das rutschende Dorf Tschappina, Glb., 1857, S. 21 ff. — [575] Der Erdrutsch von Sandgate, A., LXVI, S. 222; B. Tg., 1893, Nr. 124a. — [576] A. Heim-Moser-Bürkli-Wickart-Keiser, Die Katastrophe von Zug 5. Juli 1887, Zürich 1888. — [577] Ebenda, S. 50 ff. — [578] Ebenda, S. 31 ff. — [579] Lichtenberg, Ueber den neulichen Erdfall von Wintzingerode, Math.-physikalische Schriften, ed. Kries, III, Göttingen 1804, S. 39 ff. — [580] Sandberger, Geologische Erscheinungen in nassen Jahren, G. W., XXXI, S. 305 ff. — [581] Ebenda, S. 308 ff. — [582] Landslips, N., XXII, S. 505 ff.; Archibald, The Naini-Tal Landslip, ebenda, XXII, S. 533; Ward, Landslips, ebenda, XXIII, S. 144 ff.; Read, Landslips, the Cheshire Subsidence, ebenda, XXIII, S. 219 ff. — [583] Berdrow, Versunkene Städte, Fr. K., 8. August 1895. — [584] Bohemia, 29. Juli 1895. — [585] O. Lang, Ueber die Ursache der in den letztvergangenen Jahren zu Eisleben eingetretenen Bodenbewegungen, Essen 1896. — [586] v. Fritsch, S. 343 ff. — [587] Ule, Die Katastrophe an den Mansfelder Seen, N. W., IX, Nr. 27. — [588] Frech, Ueber Muhren, Z. d. ö. A., XXIX, S. 1 ff. — [589] Neumayr, Ueber Bergstürze, ebenda, XX, S. 49 ff. — [590] Frech, a. a. O., S. 4. — [591] Ebenda, S. 12 ff. — [592] Ebenda, S. 24. — [593] Stefanović v. Vilovo, Die Eisenbahn im Klosterthale in Vorarlberg und die Katastrophe am 9. Juli 1892, M. G. G. W., 1892, S. 607 ff. — [594] G. A. Koch, Ein „kalbender" Gletscher in den Ostalpen, ebenda, 1892, S. 175 ff. — [595] Jacobs, Wissenschaftliche Brockenbesteigung um die Mitte des XVI. Jahrhunderts, Hz., 1896, S. 307 ff. — [596] Esper, Ausführliche Nachricht von neu entdeckten Zoolithen unbekannter vierfüssiger Tiere, Nürnberg 1774. — [597] Rosenmüller, Abbildung und Beschreibung merkwürdiger Höhlen um Muggendorf, Erlangen 1796; Rosenmüller-Tilesius, Beschreibung merkwürdiger Höhlen; ein Beitrag zur physikalischen Geschichte der Erde, Leipzig 1799. — [598] Fruhwirth, Ueber Höhlen, Z. d. ö. A., XIV, S. 1 ff.; XVI, S. 108 ff. — [599] Martel, Les cavernes, Paris 1890; Les abîmes, Paris 1894. — [600] F. Kraus, Höhlenkunde; Wege und Zweck der Erforschung unterirdischer Räume, Wien 1894. — [601] Ch. W. Ritter, Beschreibung der grössten und merkwürdigsten Höhlen des Erdbodens, Hamburg 1801—1806. — [602] Goldfus, Die Umgebung von Muggendorf, Erlangen 1810. — [603] Bory de St. Vincent, Voyage souterrain ou déscription du plateau de St. Pierre de Maestricht, Paris 1821. — [604] Boyd-Dawkins-Spengel, Die Höhlen und die Ureinwohner Europas, Paris 1876. — [605] Szombathy, Die Höhlen und ihre Erforschung, Wien 1883. — [606] Virlet, Des cavernes, de leur origine et de leur mode de formation, Avesnes 1836. — [607] O. Fraas, Ueber Höhlen, Hamburg 1868. — [608] Fuhlrott, Die Grotten und Höhlen von Rheinland-Westfalen, Iserlohn 1869. — [609] Graf Wurmbrand, Ueber Höhlen und Grotten im Kalkgebirge bei Peggau, Graz 1871. — [610] Buchgruber, Höhlen in der nordöstlichen Steiermark, N. O., XXXV, S. 673 ff. — [611] Kraus, Höhlen in Bayern, St. W., VI, S. 239 ff. — [612] B. Schwalbe, Ueber einige Höhlen am Südharz, M. S. N. ö. T. K., I, Nr. 5. — [613] Tietze, Beiträge zur Geologie von Lykien, J. G. R., 1885, S. 283 ff. — [614] Erzherzog Ludwig Salvator, Die Balearen, geschildert in Wort und Bild, II, Würzburg-Leipzig 1897, S. 113 ff. — [615] Martel, La spéléologie, A. F. a. s., 4. April 1893. — [616] Bruhns, A. v. Humboldt, eine wissenschaftliche Biographie, I, Leipzig 1872, S. 124 ff. — [617] Fruhwirth, a. a. O., S. 110. — [618] Daubrée, Les eaux souterraines à l'époche actuelle, Paris 1887, S. 302 ff. — [619] Kraus, Höhlenkunde, S. 106 ff. — [620] Ebenda, S. 43 ff. — [621] Quenstedt, Geologische Ausflüge in Baden, Tübingen s. a., S. 96. — [622] Höhlenbildung durch Metamorphismus, Ntr., XL, Nr. 17. — [623] Kraus, S. 98 ff. — [624] Ebenda, S. 70 ff. — [625] Putick, Die hydrologischen Geheimnisse des Karstes und seine unterirdischen Wasserläufe, H. E., II, S. 39 ff., 86 ff. — [626] Kraus, E. A. Martels Höhlenfahrten in Krain, Gl., LXI, S. 309 ff. — [627] Martel, Sous terre (sixième campagne), Paris 1894, S. 19 ff. — [628] Cvijić, La grande grotte de Doubocca, dans la Serbie orientale, B. S. Sp., 1895, S. 81 ff. — [629] Kraus, Höhlenkunde, S. 86 ff. — [630] Die basaltische Westküste Irlands, Gl., LX, S. 371 ff. — [631] Neumayr-Uhlig, I, S. 158. — [632] Kraus, S. 684 ff. — [633] Penck, Die Temperaturverhältnisse der Grotten von St. Kanzian bei Triest, M. Z., VI, S. 161 ff. — [634] Krejcí, Ueber die Exhalationen auf dem Gipfel des Kahlenberges bei Lobositz, S. b. G. W., 1881, S. 59 ff. — [635] Widmann, Bilder aus Toskana, Nn., XII, S. 500 ff. — [636] Günther, Ueber die Entstehung und Altersbestimmung der Tropfsteingebilde, H. E., VII, S. 201 ff. — [637] A. Kircher, Mundus subterraneus, I, Amsterdam 1678, S. 124 ff. — [638] Leibniz, Protogaea, ed. Scheidt, Göttingen 1748, S. 67 ff. — [639] Kaestner, Wie viel Zeit wird ohngefähr erfordert, um zwanzigtausend ähnliche, aneinander liegende Dinge zu zählen? L. M. M. N. Oe., 1792, S. 472 ff. — [640] Parrot, Grundriss der theoretischen Physik, III, Riga-Leipzig 1815, S. 89 ff. — [641] Senft, Die Wanderungen und Wandelungen des kohlensauren Kalkes, Z. d. G. G., XIII, S. 263 ff. — [642] G. Rose, Ueber die Entstehung des Aragonites aus verdünnten Kalklösungen, S. A. B., 1. November 1860. — [643] J. Roth, Allgemeine und chemische Geologie, I, Berlin 1879, S. 534. — [644] H. Haas, Quellenkunde, Leipzig 1895, S. 200. — [645] Günther, a. a. O., S. 210 ff.; A. Eth., 1894, S. 1064 ff. — [646] Boyd Dawkins-Spengel, a. a. O., S. 30 ff. — [647] Hovey, Celebrated American Cavernes, Cincinnati 1882; Owen, Cavernes Américaines, Sp. II, S. 8 ff.; W. M. Davis-Snyder, Physical Geography, Boston-London 1898, S. 225. — [648] Schmidl, Die Baradah-Höhle bei Aggletek und die Lednitza-Eishöhle bei Spilitze, S. A. W., M. N., XXII, S. 579 ff.; Neumayr-Uhlig, I, S. 603 ff. — [649] v. Gümbel, a. a. O., S. 861 ff. — [650] Goetz, Geographisch-historisches Handbuch von Bayern, II, München 1898, S. 55 ff. — [651] Mohr, Ueber die Entstehung der Kalkhöhlen, G., VI, S. 42 ff. — [652] v. Gümbel, S. 865. — [653] Goetz, a. a. O., I, S. 701 ff. — [654] J. Gruber, Briefe hydrographischen und physikalischen Inhaltes aus Krain, Wien 1781, S. 95 ff. — [655] Schmidl, Wegweiser in die Adelsberger Grotte und die benachbarten Höhlen des Karstes, Wien 1853; Zur Höhlenkunde des Karstes, ebenda 1854. — [656] Kraus, Die Adelsberger Höhle einst und jetzt, P. G. M., XL, S. 12 ff. — [657] Grossmann-Lomas, On Hollow Pyramidal Ice Crystalls, N., L, S. 600 ff. — [658] J. Gruber, a. a. O., S. 87 ff. — [659] H. Credner, Elemente der Geologie, Leipzig 1882, S. 226 ff. — [660] Goldsmith, Volcanic Stalactites, N., LI, S. 128 ff. — [661] Crammer, Erdhöhlen- und Windröhren-Studien, Wien 1899, S. 9(27) ff. — [662] v. Richthofen, S. 635 ff. — [663] v. Zittel, S. 279. — [664] Penck, Morphol. etc., II, S. 89 ff. — [665] Supan, Die Thalbildungen des östlichen Graubündens und der Tiroler Zentralalpen, M. G. G. W., 1877, S. 293 ff. — [666] Supan, Grundzüge etc., S. 398 ff. — [667] v. Richthofen, S. 174. — [668] Kinkelin, Zur Geologie der unteren Wetterau und des Mainthales, J. n. V. N., XXXIX, S. 67 ff.; Geologische Tektonik der Umgebung von Frankfurt a. M., B. S. N. G., 1885, S. 161 ff. — [669] Hartung, eine Thalspalte, Z. d. G. G., XV, S. 161 ff. — [670] Reusch, Träk of havets virkninger, N. M. Nv., XXII, S. 169 ff. — [671] Güssfeldt, Reise in den Andes von Chile und Argentinien, Berlin 1888, S. 116, 366. — [672] v. Drigalsky, Ein typisches Fjordthal, R. F., II, S. 51. — [673] Penck, Morphol. etc., II, S. 98 ff. — [674] Hopkins, On the Geological Structure of the Wealden District, T. Gl. S., 1841, S. 1 ff. — [675] Ami Boué, Ueber die kanalartige Form gewisser Thäler und Flussbetten, P. G. M., XI, S. 199 ff. — [676] Stur, Ueber die Ablagerungen des Neogen, Diluvium und Alluvium im Gebiete der nordöstlichen Alpen und ihrer Umgebung,

S. A. W., M. N., 1855, S. 477 ff. — [677] Tietze, Einige Bemerkungen über die Bildung von Querthälern, J. G. R., 1882, S. 707 ff. — [678] Ebenda, S. 685 ff. — [679] v. Zittel, S. 314 ff. — [680] Penck, Die Bildung der Durchbruchthäler, Wien 1888 (S. V. V. n. K., XXVIII, 4). — [681] Tietze, Zur Geschichte der Ansichten über die Durchbruchthäler, J. G. R., 1888, S. 633 ff. — [682] Buckland, On the Excavation of Valleys by Diluvian Action, T. Gl. S., 1822, S. 95 ff. — [683] Penck, Morphol. etc., II, S. 138. — [684] J. L. Heim, Geologischer Versuch über die Bildung der Thäler durch Ströme, Weimar 1791. — [685] Rimrod, Beiträge für die Bildungsgeschichte der Erdfläche, Jena 1800. — [686] v. Hoff, Geschichte der durch Ueberlieferung nachgewiesenen natürlichen Veränderungen der Erdoberfläche, I, Gotha 1822, S. 213 ff. — [687] Poulett Scrope, On the Origin of Valleys, Gl. M., III, S. 193 ff., 290 ff. — [688] Murchison, On the Excavation of Valleys, illustrated by the Volcanic Rocks of Central France, P. L. Gl. S., I, S. 89 ff. — [689] G. Bischof, Lehrbuch der chemischen und physikalischen Geologie, I, Bonn 1847, S. 374 ff. — [690] Dana, Report of Wilkies Exploring Expedition, X, S. 379 ff. — [691] Beete Jukes, On the Mode of Formation of some River, Valleys in the South of England, Q. J. Gl. S., XVIII, S. 374 ff. — [692] Penck, Die Bildung etc., S. 5 ff. — [693] Römer, Die jurassische Weserkette, Z. d. G. G., IX, S. 581 ff. — [694] Bavaria, Landes- und Volkskunde des Königreiches Bayern, III, München 1863, S. 756 ff. — [695] Rütimeyer, Ueber Thal- und Seebildung, Basel 1874. — [696] Peschel, Neue Probleme der vergleichenden Erdkunde, Leipzig 1878, S. 177 ff. — [697] Tietze, a. a. O., S. 638. — [698] Medlicott, On the Geological Structure of the Southern Portion of the Himálaya Range, between the Rivers Ganges and Indus, M. Gl. S. J., III; The Alps and the Himálayas, Q. J. Gl. S., XXIII, S. 322 ff.; XXIV, S. 34 ff.; Medlicott-Blanford, A Manual of the Geology of India, Kalkutta 1879. — [699] Hayden, Some Remarks in Regard of the Period of Elevation of those Rangs of the Rocky Mountains, A. J. Sc. A., XXXIII, S. 305 ff. — [700] K. G. Gilbert, The Henry Mountains, Washington 1877, S. 125 ff. — [701] Powell, Exploration of the Colorado River, ebenda 1875, S. 125 ff. — [702] Ratzel, Physikalische Geographie und Naturcharakter der Vereinigten Staaten von Nordamerika, München 1877, S. 56 ff. — [703] Loewl, Ueber etc., S. 90 ff. — [704] v. Richthofen, S. 192. — [705] Loewl, Einige Bemerkungen etc., S. 472 ff. — [706] Foerstle, The Drainage of the Bernese Jura, Boston 1892. — [707] Ehrenberg, Die Inselgruppe von Milos, Leipzig 1889, S. 89. — [708] Horváth, Die Thätigkeit des Wassers an der östlichen Seite der Kleinen Karpathen, A. B. S. H. G., XXII, S. 57 ff. — [709] Hilber, Die Bildung der Durchgangsthäler, P. G. M., XXXV, S. 10 ff. — [710] Waehner, Geologische Bilder von der Salzach, Wien 1894. — [711] Supan, Grundzüge etc., S. 514 ff. — [712] Futterer, Durchbruchthäler in den Südalpen, Z. G. E. B., XXX, S. 1 ff. — [713] Küster, Die deutschen Buntsandsteingebiete, ihre Oberflächengestaltung und ihre anthropogeographischen Verhältnisse, Stuttgart 1891, S. 56 ff. — [714] Penck, Morphol. etc., II, S. 112 ff. — [715] Hilber, Asymmetrische Thäler, P. G. M., XXII, S. 171 ff. — [716] Ives-Newsberry, Report upon the Colorado of the West, Washington 1861. — [717] Dutton, Tertiary History of the Grand Cañon, Washington 1882; The Physical Geography of the Grand Cañon District, A. R. U. S. G. S., II, S. 47 ff. — [718] v. Richthofen, Besprechung hiezu, V. G. E. B., XI, S. 613 ff. — [719] R. Schlagintweit, Der grosse Arkansas und Clear-Creek-Canyon, G., XVII, S. 65 ff. — [720] Supan, Grundzüge etc., S. 541. — [721] Diener, Libanon, S. 138 ff. — [722] Bourdon, La cañon du Rhône et le Lac de Genève, B. S. G., (3) XVI, S. 75 ff. — [723] Diener, Der geologische Bau der Sedimentenzone des Zentralhimálaya zwischen Milam und dem Nitipasse, V. G. R., 1895, Nr. 14. — [724] Kollbrunner, Zur Morphologie der Thalbildungen und Flusssysteme, Frauenfeld 1877. — [725] Hartung, Beitrag zur Kenntnis von Thal- und Seebildung, Z. G. E. B., XIII, S. 265 ff. — [726] De la Moussaye, La vallée de la Vesle, B. S. Gl., (3) VI, S. 32 ff. — [727] Philippson, Studien über Wasserscheiden, Leipzig 1886, S. 16. — [728] v. Richthofen, China, S. 230 ff. — [729] Philippson, a. a. O., S. 119. — [730] Ebenda, S. 48 ff. — [731] v. Richthofen, Führer etc., S. 168 ff. — [732] Philippson, S. 40. — [733] Supan, Studien etc., S. 36. — [734] Supan, Grundzüge etc., S. 516 ff. — [735] Philippson, S. 80 ff. — [736] Ebenda, S. 89 ff. — [737] Supan, a. a. O., S. 518; Penck, Morphol. etc., II, S. 377. — [738] v. Gümbel, S. 812. — [739] Philippson, S. 139. — [740] Penck, Der Brenner, Z. d. ö. A., XVIII, S. 8 ff. — [741] F. Kerner v. Marilaun, Die Verschiebungen der Wasserscheiden im Wippthale während der Eiszeit, S. A. W., M. N., 1. Dezember 1891. — [742] Penck, Morphol. etc., II, S. 108. — [743] Ebenda, II, S. 62. — [744] Mühlberg, Eine für die Bestimmung des Alters und der Entstehung der Flussterrassen entscheidende Thatsache, M. Aa. N. G., III, S. 177 ff. — [745] Neumayr-Uhlig, I, S. 404. — [746] Ebenda, I, S. 515. — [747] Supan, S. 391. — [748] Bodmer, Terrassen und Thalstufen in der Schweiz, Zürich 1880; G., XVII, S. 413 ff. — [749] Ebenda, S. 418 ff. — [750] K. Schneider, a. a. O., S. 42 ff. — [751] Penck, Ueber Periodizität der Thalbildung, V. G. E. B., XI, S. 40 ff. — [752] Ebenda, S. 44 ff. — [753] A. Heim, Ueber Erosion etc., S. 371 ff. — [754] Loewl, Ueber Thalbildung, S. 87 ff.; Ueber den Terrassenbau der Alpenthäler, P. G. M., XXVIII, S. 143 ff. — [755] Neumayr-Uhlig, I, S. 482; Penck, Morphol., II, S. 62; Supan, S. 383. — [756] Neumayr-Uhlig, I, S. 525. — [757] H. Haas, Warum fliesst die Eider in die Ostsee?; ein Beitrag zur Geographie und Geologie des schleswig-holsteinschen Landes, Kiel 1886. — [758] Goetz, a. a. O., I, S. 266. — [759] v. Gümbel, S. 822. — [760] Hoedl, Ueber den Donaudurchbruch durch das böhmische Massiv, V. 66. N. V., II, 2, S. 251. — [761] Zollinger, Zwei Flussverschiebungen im Berner Oberlande, Basel 1892, S. 30. — [762] Ebenda, S. 12. — [763] Gumprecht, Der mittlere Isonzo und sein Verhältnis zum Natisone; ein Beitrag zur Lösung der Frage nach dem Alter des Isonzosystemes, Z. w. G., VII, S. 275 ff., 356 ff.; Marchesetti, Sul antico corso del fiume Isonzo, Triest 1890; Brückner, Das Problem des Isonzo- und Natisonelaufes, Bern 1892. — [764] Wey, Die Veränderung der Thalsohle durch den Rhein und seine Zuflüsse, St. Gallen 1893. — [765] Herzberg, Die historische Bedeutung des Saalethales, Halle a. d. S. 1895. — [766] Grössler, Urkundliche Nachrichten über den Lauf der Saale und die Wippermündung und die an derselben gelegenen Wüstungen, M. V. E. H., 1897, S. 1 ff.; O. Schroeter, Betrachtungen über die Laufveränderungen der Saale und der Wippermündung bei Bernburg, ebenda 1897, S. 28 ff. — [767] Maenss, Die Teilung der Elbe bei Magdeburg in den neueren Jahrhunderten, ebenda 1898, S. 1 ff. — [768] Reyer, Aenderung der Flussläufe in Toskana, Z. G. E. B., XVIII, S. 287 ff. — [769] Neumayr-Uhlig, I, S. 251, — [770] v. Richthofen, China, I, S. 317 ff.; II, S. 520 ff. — [771] Pumpelly, China, Mongolia and Japan, Washington 1866, S. 46 ff. — [772] Lochtin-Kohn, Historische Angaben über die Veränderungen, die in den Niederungen des Amu vorgegangen sind, Z. w. G., I, S. 18 ff. — [773] v. Kaulbars, Die alten Betten des Amu-Darja, St. Petersburg 1887 (russisch). — [774] Gluchowsky, Untersuchungen über das alte Bett des Oxus, ebenda 1892. — [775] De Goeye, Das alte Bett des Oxus, Leiden 1875. — [776] Toula, Geologische Skizze von Turan nach J. W. Muschketow, D. R. G. St., IX, S. 394 ff. — [777] v. Erkert, Der frühere Lauf des Amu-Darja; nach den neuesten Forschungen von A. Konschin, A., LXV, S. 545 ff. — [778] Komischke, Das alte Bett des Oxus, ebenda, LXV, S. 705 ff.; Die Hydrographie des Oxusbecken, ebenda, LXVI, S. 657 ff. — [779] Blanc, L'ancienne jonction de l'Amou-Darja avec la Mer Caspienne, C. R. C. J. G., Bern 1892. — [780] Komischke, Die Hydrographie etc., S. 661. —

[781] G. Gerland, Zur Erforschung Mittelsumátras, A., LXVI, S. 3. — [782] Penck, Morphol. etc., II, S. 350 ff. — [783] Naeher, Ueber den Kulturzustand des oberen Rheinthales zur Römerzeit, Z. w. G., II, S. 179. — [784] Stefanović v. Vilovo, Die Felsengen des Kazan und die Donau- und Theissregulierungen, Wien 1879; Ungarns Stromregulierungen, ebenda 1888. — [785] Stefanović v. Vilovo, Das seitliche Rücken der Flüsse, A., XLIX, S. 455 ff.; Ueber das seitliche Rücken der Flüsse, Wien 1881. — [786] Ad. Müller, Aussergewöhnliche Meteorerscheinungen, A. N., XLVIII, S. 375; Neuffer, Der Einfluss der Erdumdrehung auf die Bewegungen an der Oberfläche der Erde, Ulm 1897; Neuffer, Ueber einen Apparat zum Nachweise der Erdumdrehung, ebenda 1897. — [787] B. Neumann, Studien über den Bau der Strombetten und das Baersche Gesetz, Königsberg i. Pr. 1893. — [788] v. Baer, Ueber ein allgemeines Gesetz in der Gestaltung von Flussbetten, B. p. m. P., 1860, II, S. 30 ff. — [789] Babinet, Influence du mouvement de rotation de la terre sur le cours des rivières, C. R., IL, S. 638 ff. — [790] Klun, Einfluss der Rotation der Erde auf den Lauf und die Uferbildung der Flüsse, M. G. G. W., 1862, S. 144 ff. — [791] Benoni, Ueber das Baersche Gesetz, ebenda 1877, S. 209 ff. — [792] Denzler, Ueber den Einfluss der Rotation der Erde auf die strömenden Gewässer, M. N. G. B., 1857, S. 116 ff.; R. Wolf, Zur Erinnerung an Hans Heinrich Denzler, Basel 1874, S. 18. — [793] Schweinfurth, Der Nil und das Baersche Gesetz der Uferbildung, P. G. M., XI, S. 126 ff. — [794] Baines, On the Influence of the Earth's Rotation on Rivers, T. N. Z. J., 1877, S. 92 ff. — [795] Keith Johnston, Note on the Physical Geography of Paraguay, P. R. G. S., XX, S. 494 ff. — [796] W. Schmidt, Zum Baerschen Stromgesetze, M. G. G. W., 1877, S. 399 ff. — [797] Jarz, Entgegnung auf das Referat des Herrn C. Benoni, ebenda, S. 411. — [798] Dunker, Einfluss der Erdrotation auf den Lauf der Flüsse, Z. g. N., (2) XI, S. 463 ff.; Weiteres über den Einfluss der Erdrotation auf den Lauf der Flüsse, ebenda, (2) XV, S. 67 ff.; Ueber Formeln zur Bestimmung der Einwirkung der Rotation der Erde auf die Flüsse, ebenda, (2) XV, S. 331 ff. — [799] Finger, Ueber den Einfluss der Erdrotation auf die parallel zur sphäroidalen Erdoberfläche in beliebigen Bahnen vor sich gehenden Bewegungen, insbesondere auf die Strömungen der Flüsse und Winde, S. A. M., M. N., 1877, S. 67; Die relativen Bewegungen auf der Erdoberfläche, Wien 1888 (S. V. V. n. K., XXVIII, 2). — [800] Zoeppritz, Ueber den angeblichen Einfluss der Erdrotation auf die Gestaltung von Flussbetten, V. 2. D. G., S. 47 ff. — [801] Buff, Einfluss der Umdrehung der Erde um ihre Achse auf irdische Bewegungen, A. C. Ph, IV. Suppl., S. 207 ff. — [802] B. Hoffmann, Das Baersche Gesetz, Halle a. d. S. 1878. — [803] Potinecke, Zur Kritik des Baerschen Gesetzes und seine Anwendbarkeit auf den Flusslauf der Bode, ebenda 1891. — [804] G. K. Gilbert, The Sufficiency of Terrestrial Rotation for the Deflection of Streams, A. J. S., (3) XXVII, S. 427 ff. — [805] Fontès, Rôle de la rotation de la terre dans la déviation des cours d'eau à la surface du globe, C. R., CI, S. 1141 ff. — [806] Suess, Ueber den Lauf der Donau, Oe. R., 1863, S. 262 ff. — [807] Peters, Die Donau und ihr Gebiet, Leipzig 1876, S. 350. — [808] Penck, Morphol. etc., I, S. 351 ff. — [809] Penck, Die Donau, Wien 1891 (S. V. V. n. K., XXXI, 1), S. 11. — [810] Günther, Die sicht- und fühlbaren Wirkungen der Erdrotation, H., I, S. 366. — [811] G. Bischof, Lehrbuch etc., I, S. 322. — [812] Stefanović v. Vilovo, Die Seitenverschiebung der Flüsse und ihre Ursachen, G., XVII, S. 705 ff. — [813] Koeppen, Die vorherrschenden Winde und das Baersche Gesetz der Flussbetten, M. Z., VII, S. 34 ff., 180 ff. — [814] Klinge, Ueber den Einfluss der mittleren Windrichtung auf das Verwachsen der Gewässer, B. J. S. P. P., 1889, 3. Heft. — [815] Penck, a. a. O., S. 361. — [816] Dunker, Ueber die Wirkung der Flüsse auf die Gestalt und Beschaffenheit der Erdoberfläche, M. V. E. H., 1893, S. 207 ff. — [817] Kant-F. W. Schubert, Schriften zur physischen Geographie, Leipzig 1839, S. 790 ff. — [818] Davis, S. 240 ff. — [819] Kahle, Die Flusswindung innerhalb der Aue im mittleren Saalethale, M. G. G. Jn., XI, S. 165 ff. — [820] Rucktäschel, Ueber die Ungleichseitigkeit der Thäler, P. G. M., XXXV, S. 224 ff. — [821] J. Thomson, On the Origin of Windings of Rivers in Alluvial Plains, P. R. S., XXV, S. 5 ff.; Experimental Demonstration in the Respect to the Origin of Windings of Rivers in Alluvial Plains, ebenda, XXVI, S. 356 ff. — [822] Moeller, Studien über die Bewegung des Wassers in Flüssen, Z. Bw., 1883, S. 193 ff. — [823] Lorenz v. Liburnau, Die Donau, ihre Strömungen und Ablagerungen, Wien 1890, S. 75. — [824] Penck, II, S. 346. — [825] Faber, Zur Frage der Regulierung Geschiebe führender Flüsse, V. S. d. ö. u. V. B., Nr. XXIX. — [826] Lueger, Lexikon etc., III, S. 765. — [827] Faber, Die Regulierung Geschiebe führender Flüsse auf Niederwasser, München 1898. — [828] Leonhard, Der Stromlauf der mittleren Oder, Breslau 1893. — [829] Loeschmann, Beiträge zur Hydrographie der Oder, Trebnitz i. S. 1892. — [830] Der Oderstrom, sein Stromgebiet und seine wichtigsten Nebenflüsse, eine hydrographische, wasserwirtschaftliche und wasserrechtliche Darstellung, Berlin 1896. — [831] Penck, Der Oderstrom, G. Z., V, S. 19 ff., 84 ff. — [832] Renner, Die Wolga als Schiffahrtstrasse und in ihrer wirtschaftlichen Bedeutung, V. B. d. ö. u. V. B., Nr. XXXV. — [833] Fuchsberger, Betrachtung über das Pruthprojekt, Czernowitz 1898. — [834] Hensel, Die Korrektion der Isar und die Ursachen der Ueberschwemmungen, Deggendorf 1898. — [835] Treutlein, Die neueren deutschen Rheinstromstudien und ihre Ergebnisse, A., LXVI, S. 808. — [836] Gerster, Die Rhein- und Bodensee-Uferregulierung, ebenda, LXVI, S. 645 ff. — [837] Lauda-v. Kovàcs-Penck-Leibbrand-Faber-Günther, Ueber die einheitliche Pflege der Hydrographie der Verbandsländer, V. S. d. ö. u. V. B., Nr. XIV, XIX, XXXI. — [838] Penck, I, S. 343 ff.; Supan, S. 530. — [839] Orville Derby, Physikalische Geographie und Geologie von Brasilien, M. G. G. Jn., V, S. 1 ff. — [840] Buache, Mémoire sur les différentes idées qu'on a eues de la traversée de la mer glaciale, et sur les communications ou jonctions qu'on a supposées entre diverses rivières, M. P., 1754, S. 1 ff. — [841] v. Hahn, Reise durch die Gebiete des Drin und Wardar, Wien 1870. — [842] Peschel-Ruge, S. 531. — [843] Humboldt, Note sur la communication qui existe entre l'Orénoque et la rivière des Amazones, I. E. P., IV, S. 65. — [844] Humboldt, Werke, VIII, S. 1. — [845] Ebenda, VII, S. 6 ff. — [846] Haase, Ueber Bifurkationen und ihre Beziehungen zur Oberflächengestaltung ihrer Gebiete, P. G. M., XXXV, S. 192 ff. — [847] Penck, I, S. 345. — [848] Schichtel, Der Amazonenstrom; Versuch einer Hydrographie des Amazonengebietes auf orographisch-meteorologischer Grundlage, Strassburg i. E. 1893, S. 68 ff. — [849] Davis, The Seine, the Meuse and the Moselle, N. G. M., VII, S. 195 ff. — [850] Ebenda, S. 189. — [851] Forel, Les ravins sous-lacustres der fleuves glaciaires, C. R., CI, S. 725 ff. — [852] Issel, Sur l'existence de vallées submergées dans le golfe de Gênes, ebenda, CIV., S. 250 ff. — [853] Linhardt, Ueber unterseeische Flussrinnen, J. G. G. M., XIV, S. 21 ff. — [854] Ravenstein, On Bathy-Hypsographical Maps, P. R. S., VIII, S. 21 ff. — [855] Forel, Le carte idrografiche dei laghi svizzeri, C., XI, 1. Heft. — [856] Davidson, Submarine Valleys on the Pacific Coast of the United States, B. C. A. Sc., II, S. 265 ff. — [857] Stassano, La foce del Congo, Rom 1886. — [858] Frauenfelder, Die Entstehung der Flussinseln, Ludwigshafen 1897; ebenda, S. 42. — [860] Kulschin, Ueber die Wasserfälle des Dnjepr und die Inseln in demselben, A. K. R., IV, S. 60 ff. — [861] Schichtel, a. a. O., S. 67. — [862] Walchner, Die Bildung der Rheininseln, W. M., XVII, S. 54 ff. — [863] Beitzke, Geschichte des russischen Krieges im Jahre 1812, Berlin 1856, S. 347. — [864] De la Métherie-

Eschenbach, Theorie der Erde, II, Leipzig 1797, S. 293 ff. — [865] Penck, Morphol., II, S. 231 ff. — [866] Desor, Sur l'origine des lacs Suisses, A. s. p. n., 1863, S. 189 ff. — [867] G. Bischof, a. a. O., I, S. 288 ff. — [868] Wallace, Lake and Lake Regions, P. A. A. A. Sc., 1870, S. 182 ff. — [869] C. Schmidt, Karl Ludwig Rütimeyer, B. A. Z., 1896, Nr. 123. — [870] A. Boué, Ueber die unterirdischen Wasserläufe und Behälter und die Reinheit sowie Durchsichtigkeit gewisser Seen, dann über die wahrscheinliche Bildung von Seen überhaupt, Wien 1878. — [871] v. Sonklar, Allg. Orogr., S. 164 ff. — [872] Peschel, a. a. O., S. 165 ff. — [873] Loewl, Ein Profil durch den Westflügel der Hohen Tauern, V. G. R., 1881, S. 449. — [874] R. Credner, Die geographische Verteilung der Alpenseen, V. 2. d. G., S. 84 ff. — [875] Penck, Die Vergletscherung, S. 315 ff. — [876] Davis, On the Classification of the Bassins, P. B. S. N. H., XXI, S. 315 ff.; Sc., X., S. 142 ff. — [877] v. Richthofen, Führer etc., S. 262 ff. — [878] Ebenda, S. 269. — [879] Lüddecke, Ueber Moränenseen, Halle a. d. S. 1881. — [880] E. Richter, Besprechung hierzu, M. d. ö. A., 1881, Nr. 5. — [881] Penck, a. a. O., S. 346. — [882] Peschel, a. a. O., S. 177 ff. — [883] Grohmann, Aus den Dolomitalpen, Z. d. ö. A., XVII, S. 325. — [884] Peschel-Leipoldt, II, S. 357. — [885] Futterer, Die Entstehung der Lapisinischen Seen, Z. d. G. G., XLIV, S. 123 ff.; Hoernes-Tenner, Der Querbruch von St. Croce und die Bildung der Schuttmassen von Cima Fadelto di Vedana bei Belluno, ebenda, XLV, S. 347 ff. — [886] Ein neuer See im Himálayagebirge, G., XXX, S. 758. — [887] Peschel, Neue Probl. etc., S. 165 ff. — [888] A. Heim, Die Seen des Oberengadin, J. S. A., XV, S. 429 ff. — [889] Neumayr-Uhlig, I, S. 523. — [890] Davis-Snyder, S. 839 ff. — [891] Penck, a. a. O., S. 156 ff.; Der Alpsee bei Immenstadt, Der Tourist, 1883. — [892] Thoulet, Contribution à l'étude des lacs des Vosges, B. S. G., (7) XV, S. 557 ff. — [893] v. Richthofen, S. 270 ff. — [894] A. Heim, Die Entstehungsgeschichte des Züricher-Sees, Zürich 1893. — [895] Ule, Der Starnberger-See, G. Z., III, S. 549 ff. — [896] R. Schaefer, Ueber die geologischen Verhältnisse des Karwendels in der Gegend von Hinterriss und um den Scharfreiter, München 1888, S. 27. — [897] E. Fraas, Szenerie der Alpen, Leipzig 1892, S. 169. — [898] E. Geinitz, Die Seen, Moore und Flussläufe Mecklenburgs, Güstrow 1886, S. 9 ff. — [899] Jentzsch, Das Profil der Eisenbahn Konitz-Tuchel-Baskowitz, J. p. G. L., 1884, S. 561 ff. — [900] Die freie und Hanse-Stadt Lübeck; ein Beitrag zur deutschen Landeskunde, Lübeck 1890, S. 11; Penck, Morphol., II, S. 268. — [901] Moeckel, Die Entstehung des Plauer-Sees, des Drewitzer- oder Alt-Schweriner-Sees und des Krukower-Sees, Güstrow 1892. — [902] C. K. Gilbert, Formation of Lake Basins by Wind, Gl. J., 1895, S. 1 ff. — [903] Tyndall, In den Alpen, Braunschweig 1872, S. 209 ff. — [904] Ramsay, On the Glacial Origin of certain Lakes in Switzerland, Q. J. Gl. S., XVIII, S. 185 ff. — [905] Penck, Die Vergletscherung etc., S. 372 ff. — [906] Penck, Geographische Wirkungen der Eiszeit, V. 4. d. G., S. 66 ff. — [907] Penck, Morphol. etc., II, S. 318 ff. — [908] Ebenda, S. 325. — [909] v. Boehm, Die Hochseen der Ostalpen, M. G. G. W., 1886, S. 625 ff. — [910] A. Heim, Die Entstehung der alpinen Randseen, V. N. G. Z., XXXIX, S. 65 ff. — [911] E. Bayberger, Der Chiem-See, W. M. V. E. L., 1888, S. 1 ff. — [912] Penck, a. a. O., II, S. 305 ff. — [913] v. Richthofen, S. 256. — [914] Nissen, Italische Landeskunde, I, Berlin 1883, S. 260 ff. — [915] Junghuhn-Hasskarl, Java, seine Gestalt, Pflanzendecke und innere Bauart, II, Leipzig 1853, S. 134 ff., 572 ff. — [916] Nissen, a. a. O., S. 275. — [917] E. Krause, Die Paliken, G., V, S. 198 ff. — [918] Penck, II, S. 296 ff. — [919] Penck, Die Vergletscherung etc., S. 156 ff. — [920] Fr. K., 7. Mai 1895, II. — [921] Fugger-Sieger, Die Entstehung der Karseen, G. Z., II, S. 462 ff. — [922] Frei, Das Tote Meer, seine Entstehung und Geschichte, M. O. G. K. G., 1896, S. 67 ff. — [923] Blanckenhorn, Entstehung und Geschichte des Toten Meeres; ein Beitrag zur Geologie Palästinas, Leipzig 1896 (Z. D. P. V., IX). — [924] Diener, Die Entstehung des Toten Meeres, M. G. G. W., S. 1 ff. — [925] E. L. S., Der Djebel Esdoum, das Salzgebirge von Sodom, M. G. G. W., 1873, S. 128 ff.; Blankenhorn, a. a. O., S. 34, 59. — [926] Volz, Beiträge zur geologischen Kenntnis von Nord-Sumátra, Leipzig 1899. — [927] Hoekstra, Die Oro- und Hydrographie Sumátras nach dem Standpunkte unserer heutigen Kenntnisse, Groningen 1893, S. 50. — [928] Swerinzew, Zur Entstehung der Alpenseen, St. Petersburg 1896. — [929] Ch. Darwin, The Formation of Vegetable Mould through the Action of Worms, London 1881; Darwin-Carus, Die Bildung der Ackererde durch die Thätigkeit der Würmer, mit Betrachtungen über deren Lebensweise, Stuttgart 1882. — [930] H. Reichenbach, Darwins neuestes Werk über die Arbeit der Würmer, H., I, S. 59 ff. — [931] O. Schmidt-Marshall, Die niederen Tiere, Leipzig-Wien 1893, S. 111 ff. — [932] Supan, S. 346. — [933] Serpa Pintos Wanderungen quer durch Afrika, G., XVII, S. 400. — [934] C. Keller, Reisestudien in den Somaliländern, Gl., LXIX, S. 206 ff. — [935] O. Lenz, Ueber die Bedeutung der Termiten für Erdbewegung und natürliche Bodenkultur in den Tropenländern, M. G. G. W., 1894, S. 711 ff. — [936] Ebenda, S. 720 ff. — [937] A. Heim, Was ist und was will Geologie?, Zürich 1872, S. 29. — [938] Davis, S. 310. — [839] H. Moeller, Die Pilzgärten einiger südamerikanischen Ameisen, Jena 1893 (Sch. B. M. Tr., VI). — [940] G. K. Gilbert-Gulliver, Tepee Buttes, B. Gl. S. A., VI, S. 333 ff.; Bell, Annual Report of the Geol. and Natur. Hist. Survey of Canada, II, G., S. 27 ff. — [941] A. Heim, Handbuch etc., S. 404. — [942] v. Boehm, Ueber Schafschliffe, M. d. ö. A., 1882, S. 92 ff. — [943] Günther, Lehrbuch der physikalischen Geographie, Stuttgart 1891, S. 472 ff. — [944] Kant-F. W. Schubert, a. a. O., S. 779 ff. — [945] A. v. Humboldt, Werk, XI (Ansichten der Natur), S. 1 ff. — [946] Peschel, Neue Probl., S. 188 ff. — [947] H. J. Klein, Die Gesetze der Wüstenbildung, G., XIII, S. 646 ff. — [948] Penck, Morphol., II, S. 10 ff. — [949] v. Richthofen, S. 505. — [950] Ratzel, Physikalische Geographie und Naturcharakter der Vereinigten Staaten von Nordamerika, München 1878, S. 305. — [951] R. Schlagintweit, Die Prairien des amerikanischen Westens, G., X, S. 449 ff. — [952] Woeikow, Ueber die Waldlosigkeit der amerikanischen Prairien, A., L, S. 458 ff. — [953] Ueber die Ursache des Steppenklimas des nordamerikanischen Westens, ebenda, LV, S. 47 ff. — [954] Die Wüsten Nordamerikas, ebenda, L, S. 601 ff. — [955] A. v. Humboldt, a. a. O., S. 4. — [956] P. Engelhardt, Beiträge zur Ehrenrettung der Lüneburger Heide, physikalisch-geographische Forschungen im Flussgebiete der Luhe, Berlin 1879, S. 15 ff. — [957] C. Gruber, Die Heidelandschaft um München und ihre Entstehung, J. G. G. M., IX, S. 20 ff. — [958] Krahmer, Die Expedition der kais. Russ. Geogr. Gesellschaft nach Mittelasien, P. G. M., XLI, S 16 ff. — [959] Tanfiljew, Die Waldgrenzen in Südrussland, (russisch) St. Petersburg 1894. — [960] E. H. L. Krause, Die salzigen Gefilde; ein Versuch, die zoologischen Ergebnisse der europäischen Quartärforschung mit den botanischen in Einklang zu bringen, B. J. S. P. P., XVII, Beibl. Nr. 40. — [961] Nehring, Ueber Tundren und Steppen der Jetzt- und Vorzeit, mit besonderer Berücksichtigung ihrer Fauna, Berlin 1890. — [962] Nehring, Die quaternären Faunen von Thiede und Westeregeln, Braunschweig 1878; Die ehemalige Verbreitung der Lemminge in Europa, G., XVI, S. 352 ff.; Ueber die letzten Ausgrabungen bei Thiede, ebenda, XIX, S. 88 ff.; Faunistische Beweise für die ehemalige Vergletscherung Norddeutschlands, K., 1883, S. 173 ff.; Zur Steppenfrage, Gl., LXV, S. 1 ff. — [963] Nehring, Die geographische Verbreitung der Säugetiere im östlichen Russland und ihre Bedeutung für die mitteleuropäische Diluvialfauna, A., LXVI, S. 727 ff., 742 ff. — [964] Nehring, Die Ursachen der Steppenbildung in Europa, G. Z., I, S. 160. —

[965] Jentzsch, Ueber Baron von Richthofens Lösstheorie und den angeblichen Steppencharakter Zentraleuropas am Schlusse der Eiszeit, S. p. ö. G. K., XVIII, S. 161 ff. — [966] Desor, Der Mensch und die Wüste, Basel 1876. — [967] Neumayr-Uhlig, I, S. 575 ff. — [968] Schirmer, Le Sahara, Paris 1893. — [969] Rohlfs, Drei Monate in der Libyschen Wüste, Kassel 1875 (Fortsetzung 1876); W. Jordan, Physische Geographie und Meteorologie der Lybischen Wüste, Kassel 1876; v. Zittel, Beiträge zur Geologie und Paläontologie der Lybischen Wüste, ebenda 1883. — [970] Reiter, Die Kalahara; ein Beitrag zur vergleichenden Länderkunde, Z. w. G., V, S. 103 ff. — [971] Berndt, Die Plaine de la Crau, I, Breslau 1886. — [972] Martins-C. Vogt, Von Spitzbergen zur Sahara, II, Jena 1872, S. 135 ff. — [973] Greffrath, Die westaustralische Forschungsreise unter David Lindsay, A., LXVI, S. 273 ff. — [974] vom Rath, Arizona; Studien und Wahrnehmungen, Heidelberg 1885. — [975] Philippi, Reise durch die Wüste Atacama, Halle a. d. S. 1860. — [976] Schirmer, a. a. O., S. 111. — [977] Sériziat, Études sur l'oasis de Biskra, Algier 1868. — [978] Volkens, Die Flora der Aegyptischen Wüste, Berlin 1887. — [979] Drude, Handbuch der Pflanzengeographie, Stuttgart 1890, S. 143 ff. — [980] Schirmer, S. 187 ff. — [981] E. Roth, Ueber die Flora der Wüste, H., V, S. 441 ff. — [982] Schirmer, S. 192 ff. — [983] Ebenda, S. 153. — [984] v. Zittel, Ueber den geologischen Bau der Lybischen Wüste, München 1880; Die Sahara, ebenda 1883. — [985] Rolland, Sur le terrain crétacé et sur les grandes dunes du Sahara, Compte rendu de la 2me session du Congrès géologique international, Bologna 1882, S. 233 ff.; Géologie du Sahara et aperçu géologique sur le Sahara, Paris 1890. — [986] J. Walther, Lithogenesis der Gegenwart, Jena 1894, S. 415 ff. — [988] Schirmer, S. 18 ff. — [989] Davis, S. 303. — [990] Ebenda, S. 151. — [991] Sievers, Die Kordillere von Mérida, Wien-Olmütz 1888 (P. G. A., III, 1), S. 145 ff. — [992] Penck, Morphol., II, S. 69, 181. — [993] Pošepny, Zur Genesis der Salzablagerungen, besonders jener im nordamerikanischen Westen, S. A. W., M. N., 1877, I, S. 179 ff. — [994] Müntz, Sur la répartition du sel marin suivant les altitudes, C. R., CXII, S. 447 ff. — [995] Tietze, Zur Theorie der Entstehung der Salzsteppen und der angeblichen Entstehung der Salzlager aus Salzsteppen, J. G. R., 1877, S. 341 ff. — [996] Reiter, a. a. O., S. 230 ff. — [997] Der geologische Bau der Sahara, G., XX, S. 623 ff. — [998] H. J. Klein, a. a. O., S. 723. — [999] Schirmer, S. 114 ff. — [1000] Nachtigal, Sahara und Sudan, I, Leipzig 1879, S. 536 ff. — [1001] H. Saussure, Sur une excursion dans la Sahara algérienne, A. s. p. n., 1888, S. 482 ff. — [1002] Roudaire, Une mer intérieure en Algérie, Paris 1874. — [1003] Martins-Désor, Observations sur le projet de la création d'une mer intérieure dans le Sahara oriental, C. R., LXXXVIII, S. 265 ff.; Zenker, Ueber das Depressionsgebiet der Libyschen Wüste und den Fluss ohne Wasser, Z. G. E. B., VII, S. 209 ff. — [1004] Vuillot, Des Zibans au Djerid par les Chotts algériens, Rennes-Paris 1893; Staudinger, Die algerisch-tunisischen Schotts und die Frage der Bewässerung der Depressionen, G. Z., I, S. 692 ff. — [1005] Report on the Horn Scientific Expedition to Central Australia, I, London 1896. — [1006] Th. Fischer, Studien über das Klima der Mittelmeerländer, P. G. M., E. H. Nr. 58, S. 40 ff. — [1007] J. Partsch, Ueber den Nachweis einer Klimaänderung der Mittelmeerländer in geschichtlicher Zeit, V. 9. d. G., S. 116 ff. — [1008] Chelius, Flugsand und Rheinalluvium zur Jetztzeit, N. J. M. G. P., 1892, I, S. 224 ff.; Penck, Dünen in der oberrheinischen Tiefebene, A., LXVI, S. 350 ff. — [1009] Goetz, a. a. O., II, S. 259, 420. — [1010] Sokolow-Arzruni, Die Dünen; Bildung, Entwickelung und innerer Bau, Berlin 1894. — [1011] Stahlberg, Die Dünen, nach Sokolow, G. Z., II, S. 164 ff. — [1012] Rolland, Les grandes dunes de sable du Sahara, C. R. S. G. P., 1890, S. 158 ff. — [1013] Blanc, La formation des dunes sahariennes, ebenda, 1890, S. 363 ff. — [1014] v. Middendorff, Einblick in das Ferghanathal, M. A. P., 1881, I, S. 30 ff. — [1015] Muschketow-Merena, Die kontinentalen Sanddünen oder Barchane, D. R. G. St., XII, S. 147 ff. — [1016] Bollaert, Observations on the Geography of Southern Peru, J. R. G. S., XXI, S. 101. — [1017] Penck, Morphol. etc., II, S. 45. — [1018] A. Kircher, Mundus subterraneus, lib. II, cap. 12, App. — [1019] E. Fraas, a. a. O., S. 244. — [1020] C. Neumann-Partsch, a. a. O., S. 255 ff. — [1021] Kretschmer, Die physische Erdkunde im christlichen Mittelalter, Wien-Olmütz 1889 (P. G. A., IV, 1), S. 82 ff. — [1022] Cvijić, Das Karstphänomen, Wien 1893 (P. G. A., V, 3). — [1023] Penck, Morphol. etc., II, S. 269 ff. — [1024] Philippson, Der Peloponnes, II, S. 494 ff. — [1025] J. Partsch, Kephallenia und Ithaka, P. G. M., E. H., Nr. 89. — [1026] Lotti, Nuove osservazioni sulla geologia della Montagnola Senese, B. C. G. I., 1888, S. 359 ff. — [1027] Toula, Reisebilder in Bulgarien, N. J. M. G. P., 1893, I, S. 305 ff. — [1028] Munteanu-Murgoci, Calcare si fenomene de erosiune in Carpatii Meridionali (Clina Romana), Bukarest 1898. — [1029] Makowsky, Die geologischen Verhältnisse der Umgebung von Brünn, Brünn 1884. — [1030] Kříž, Die Höhlen in den mährischen Devonkalken, V. G. R., 1893, S. 443 ff. — [1031] F. Kraus, Karsterscheinungen im Dachsteinplateau, G., XXIX, S. 325 ff. — [1032] Siegfried, Der Schweizerische Jura, Zürich 1851, S. 124 ff. — [1033] Regel, Die Höhlen der Schwäbischen Alb, N. W., VIII, Nr. 40. — [1034] Martel, Les Cévennes, Paris 1890. — [1035] Goebeler, Die Causses der Cevennen und ihre Höhlen, Pr., II, S. 584 ff., 599 ff., 607 ff. — [1036] Cvijić, a. a. O., S. 106. — [1037] Ebenda, S. 194; Hull, The Physical Geography and Geology of Ireland, London 1878, S. 198 ff. — [1038] K. Schmidt, Untersuchungen über die silurische Formation von Esthland, Livland und Oesel, Dorpat 1857, S. 89 ff. — [1039] Höhlen auf Borneo, Gl., LXX, S. 328 ff. — [1040] K. J., V, S. 213. — [1041] Fruhwirth, Die Höhlen der Vereinigten Staaten in Nordamerika, P. G. M., XXXIV, S. 203 ff. — [1042] Cvijić, S. 109 ff. — [1043] Krümmel, Ueber die von der Plankton-Expedition besuchten atlantischen Inseln, V. E. G. B., XVII, S. 492 ff. — [1044] Dierks, Die Rebellion in Kuba, Nn., XIII, S. 446. — [1045] Cvijić, S. 98 ff. — [1046] Brocard, La spéléologie de la Meuse, B. S. Sp., 1896, S. 14 ff. — [1047] Schoepf, Beyträge zur mineralogischen Kenntnis des östlichen Theils von Nordamerika und seiner Gebürge, Erlangen 1787, S. 102 ff. — [1048] Goetz, a. a. O., II, S. 57. — [1049] Hassert, Der Durmitor; Wanderungen im montenegrinischen Hochgebirge, Berlin 1891, S. 25. — [1050] Cvijić, S. 65. — [1051] Supan, S. 358; Putick, Die unterirdischen Flussläufe von Innerkrain, M. G. G. W., 1887, S. 277 ff. — [1052] Noë, Ein gelöstes Rätsel, M. N. N., 1895, Nr. 471. — [1053] Martel-Gaupillat, La formation des sources dans l'intérieur du plateau calcaire des „Causses", C. R., CIX, S. 829 ff. — [1054] F. Kraus, Die Naturwunder des Karstes, St. W., II, S. 353 ff. — [1055] F. Kraus, Sumpf- und Seenbildungen mit besonderer Berücksichtigung der Karsterscheinungen und insbesondere der Katavothrenseen, M. G. G. W., 1892, S. 373 ff. — [1056] Bursian, Geographie von Griechenland, I, Leipzig 1862, S. 196 ff., II, ebenda 1872, S. 186 ff. — [1057] Peschel-Leipoldt, Phys. Erdkunde, II, S. 353 ff. — [1058] Supan, Die Trockenlegung des Kopais-Sees, P. G. M., XXXV, S. 72 ff. — [1059] E. Braun, An Account concerning an uncommon Lake called the Zirknitz-See in Carniola, P. T., 1669, S. 1083 ff.; v. Valvasor, Account of the Zirknitz-Sea, ebenda 1687, S. 411 ff. — [1060] Steinberg, Gründliche Nachricht von dem im inneren Crain liegenden Czirknitzer See, Graz 1761. — [1061] J. Gruber, Briefe etc., S. 15 ff. — [1062] Urbas, Das Phänomen des Zirknitzer-Sees, Z. d. ö. A., X, S. 29 ff. — [1063] Deutsche Alpen, III (Meyers Reiseführer), Leipzig 1887, S. 270. — [1064] v. Valvasor, Lacus Cirniciensis potiora phaenomena ex principiis physicis et mathematicis explanata, A. E., 1689, S. 634 ff. — [1065] F. Kraus, Höhlenkunde, S. 49 ff. — [1066] Cvijić, S. 91 ff. — [1067] Martel-De

Launay, Sur quelques cavernes de la France, B. S. Gl. F., 1891, S. 142 ff.; F. Kraus, Ein neuer Höhlentypus, P. G. M., XXXVIII, S. 244 ff. — [1068] Kolombatović, Novin adstatci Kraljesnjacima Dalmacije, Spalato 1894. — [1069] Cvijić, La grande grotte de Douboca, dans la Serbie orientale, B. S. Sp., 1895, S. 81 ff. — [1070] F. Kraus, Hochwasser auf dem Karst, W. Fr., 4. Nov. 1895. — [1071] Frischauf-Meyer, S. 273. — [1072] v. Eichwald, Die Grauwackenschichten von Liv- und Esthland, B. S. N. M., 1854, S. 65 ff. — [1073] Trampler, Dolinen im Brünner Höhlengebiete, M. G. G. W., 1893, S. 241 ff. — [1074] Cvijić, S. 9. — [1075] Ebenda, S. 35 ff. — [1076] Kříž, Der Lauf der unterirdischen Gewässer in den Devonischen Kalken Mährens, J. G. R., 1883, S. 691 ff. — [1077] F. Kraus, Höhlenkunde, S. 110 ff. — [1078] Neumayr-Uhlig, I, S. 503 ff. — [1079] Cvijić, S. 61 ff. — [1080] Ebenda, S. 75. — [1081] Ebenda, S. 97. — [1082] Penck, Morphol. etc., II, S. 60. — [1083] Ebenda, II, S. 271 ff. — [1084] J. Partsch, Die Insel Korfu, P. G. M., E. H. Nr. 88, S. 18. — [1085] Reyer, Studien über das Karstrelief, M. G. G. W., 1881, S. 76 ff., 101 ff. — [1086] v. Mojsisovics, Zur Geologie der Karsterscheinungen, Z. d. ö. A., XI, S. 111 ff. — [1087] Tietze, Zur Geologie der Karsterscheinungen, J. G. R., 1880, S. 729 ff. — [1088] Philippson, a. a. O., II, S. 447. — [1089] J. Hoernes, Zur Erklärung der Karsterscheinungen, G., XVI, S. 699 ff.; Zur Würdigung der theoretischen Spekulationen über die Geologie von Bosnien, Graz 1882. — [1090] v. Guttenberg, Die forstlichen Verhältnisse des Karstes, Triest 1882; Der Karst und seine forstlichen Verhältnisse, Z. d. ö. A., XII, S. 24 ff. — [1091] Ebenda, S. 55 ff. — [1092] E. Richter, Die Karstländer und ihre Wirtschaft, Z. S., XX, S. 161 ff. — [1093] Marchesetti, La caverna di Gabrovizza presso Trieste, Triest 1890. — [1094] C. Neumann-Partsch, a. v. St. — [1095] Clessin, Die Moränenlandschaft der bayerischen Hochebene, Z. d. ö. A., XIV, S. 193 ff. — [1096] v. Ammon, Die Gegend von München etc., S. 15. — [1097] Penck, Morphol. etc., II, S. 50. — [1098] Penck, Die Vergletscherung etc., S. 1 ff. — [1099] Günther, Glazial- und Drifthypothese auf bayerischem Boden entstanden, J. G. G. M., IX, S. 49 ff. — [1100] Gruithuisen, Geognostische Beobachtungen und Ansichten über die sonderbare Lagerung, Beschaffenheit und Herkunft der Urfelstrümmer in der Gegend und an den Ufern des Würm-Sees in Oberbayern, N. O. A. L., 1889, S. 1009 ff. — [1101] Penck, a. a. O., S. 3. — [1102] Volger, Leben und Leistungen des Naturforschers Karl Schimper, Frankfurt a. M. 1889, S. 8. — [1103] Ebenda, S. 41; v. Zittel, S. 332 ff. — [1104] Volger, a. a. O., S. 43. — [1105] L. Agassiz-E. C. Agassiz-Mettenius, Leben und Briefwechsel, Berlin 1886, S. 177 ff. — [1106] Ebenda, S. 157 ff. — [1107] Wrede, Geognostische Untersuchungen über die südbaltischen Länder, Berlin 1804. — [1108] v. Zittel, S. 341. — [1109] Hausmann, De origine saxorum, per Germaniae septentrionalis regiones arenosas dispersorum, C. S. G., (2) VII, S. 3 ff. — [1110] Sefström, Untersuchung über die auf den Felsen Skandinaviens in bestimmter Richtung vorhandenen Furchen und deren wahrscheinliche Entstehung, A. P. C., XLIII, S. 533 ff. — [1111] v. Buch, Bemerkungen zu vorstehendem Aufsatze, ebenda, XLIII, S. 567 ff. — [1112] J. F. Weiss, Südbayerns Oberfläche nach ihrer äusseren Gestalt, München 1820. — [1113] v. Gümbel, Geognostische Beschreibung des bayerischen Alpengebirges und seines Vorlandes, Gotha 1861; Die geognostische Durchforschung Bayerns, München 1877, S. 30 ff.: Geologie von Bayern, S. 293 ff. — [1114] v. Zittel, Ueber Gletschererscheinungen in der bayerischen Hochebene, S. A. M., M. P., 1874, S. 272 ff.; Nachträgliche Bemerkungen hiezu, ebenda 1875, S. 146 ff. — [1115] Penck, Das österreichische Alpenvorland, Wien 1890 (S. V. n. K. W., XXX, 14); Die Glazialschotter in den Ostalpen, Wien 1890. — [1116] A. Heim-Penck, Aus dem Gebiete des alten Isargletschers und des alten Linthgletchers, Z. d. G. G., 1886, S. 161 ff. — [1117] M. Haushofer, Alpenlandschaft und Alpensage, Bamberg 1890, Kap. II; Die südostbayerische Moränenlandschaft, Bd., II, S. 343 ff., 351 ff. — [1118] Charpentier, Sur la cause probable du transport des blocs erratiques de la Suisse, Paris 1835; Essai sur les glaciers et sur le terrain erratique du bassin du Rhône, Lausanne 1841. — [1119] Venetz, Mémoire sur l'extension des anciens glaciers, N. D. A. S. G., XVIII. — [1120] Du Pasquier, La conservation des blocs erratiques, Neuchatel 1892. — [1121] v. Ammon, S. 42. — [1122] O. Lang, Beobachtungen von Gletscherschliffen, Z. d. G. G., 1888, S. 119 ff. — [1123] Meunier, Disquisitions sur une espèce de striation des roches, indépendant des phénomènes glaciaires, C. R., CXVIII, S. 890 ff. — [1124] Penck, Morphol. etc., I, S. 412. — [1125] v. Zittel, Gletscherboden und Moränen am Starnberger-See, M. N. N., 1. Juni 1889, I. — [1126] E. Oberhummer, Ein neuer Gletscherschliff am Starnberger-See, B. A. Z., Nr. 185. — [1127] E. Fraas, a. a. O., S. 304. — [1128] Penck, a. a. O., I, S. 407. — [1129] v. Drygalski, Grönlands Gletscher- und Inlandeis, Z. G. E. B., XXVII, S. 3. — [1130] Du Pasquier, Ueber die fluviglazialen Ablagerungen der Nordschweiz, B. g. K. Sch., XXXI, S. 27. — [1131] Brückner, Die Vergletscherung des Salzachgebietes nebst Beobachtungen über die Eiszeit in der Schweiz, Wien 1887 (P. G. A., I, 1), S. 57. — [1132] v. Ammon, S. 19 ff. — [1133] Keilhack, Vergleichende Beobachtungen an isländischen Gletscher- und norddeutschen Diluvialbildungen, J. p. G. L., 1883, S. 159 ff. — [1134] Wahnschaffe, Die Ursachen der Oberflächengestaltung des norddeutschen Flachlandes, Stuttgart 1891, S. 103 ff. — [1135] Boll, Geognosie der deutschen Ostseeländer zwischen Eider und Oder, Neubrandenburg 1846, S. 104 ff. — [1136] E. Geinitz, Die mecklenburgischen Höhenrücken (Geschiebestreifen) und deren Beziehungen zur Eiszeit, Stuttgart 1886. — [1137] Berendt-Wahnschaffe, Ergebnisse eines geologischen Ausfluges durch die Uckermark und Mecklenburg-Strelitz, J. p. G. L., 1888, S. 363 ff. — [1138] Sefström, a. a. O., S. 535. — [1139] Penck, Morphol. etc., II, S. 53. — [1140] Upham, The Structure of Drumlins, P. B. S. N. H., 1889, S. 228 ff. — [1141] Davis, The Distribution and Origin of Drumlins, A. J. S., (3) XXVIII, S. 407 ff. — [1142] Davis-Snyder, a. a O., S. 338 ff. — [1143] Sieger, Zur Entstehungsgeschichte des Boden-Sees, R. F., III. — [1144] Sieger, Die Drumlinslandschaft, G. Z., III, S. 411 ff. — [1145] Früh, Die Drumlinslandschaft mit besonderer Berücksichtigung des alpinen Vorlandes, St. Gallen 1896. — [1146] Wahnschaffe, Ursachen etc., S. 72 ff. — [1147] H. Credner, Ueber Schichtenstörungen im Untergrunde des Geschiebelehmes, an Beispielen aus dem nordwestlichen Sachsen und angrenzenden Landstrichen, Z. d. G. G., XXXII, S. 77 ff. — [1148] v. Calker, Ueber glaziale Erscheinungen im Hondsrug, ebenda, XL, S. 258 ff. — [1149] H. Haas, Ueber die Stauchungserscheinungen im Tertiär und Diluvium in der Umgebung von Itzehoe, Kiel 1888; Studien über die Entstehung der Föhrden [Buchten) an der Ostküste Schleswig-Holsteins, sowie der Seen und der Flussnetze dieses Landes, ebenda 1888. — [1150] R. Credner, Ueber die Entstehung der Ostsee, G. Z., I, S. 537 ff. — [1151] Penck, Die Geschiebeformation Norddeutschlands, Z. d. G. G., XXXI, S. 117 ff. — [1152] R. Credner-Penck, Erläuterungen zu der geologischen Spezialkarte des Königreiches Sachsen, Blatt 44, Leipzig 1879, S. 41 ff. — [1153] Mehner, Ueber ältere Ablagerungen der skandinavisch-sarmatisch-germanischen Diluvialregion, Wurzen 1883. — [1154] Ratzel, a. a. O., S. 12' ff. — [1155] H. Haas, Ueber den Zusammenhang gewisser mariner, insbesondere der tertiären Bildungen, sowie der erratischen Ablagerungen Norddeutschlands und seiner angrenzenden Gebiete mit der säkulären Verwitterung des skandinavischen Festlandes, M. M. J. U. K., I, 4. — [1156] H. Haas, Vorweltliche Lateritbildung in Skandinavien und ihre Beziehungen zum Tertiär und Diluvium Norddeutschlands, A., XLVI, S. 170 ff., 186 ff. — [1157] Penck-Brückner-Du Pasquier, Le système glaciaire des Alpes,

Neuenburg 1894, S. 13 ff. — [1158] Léon Du Pasquier 1864—1897, ebenda 1897, S. 21 ff. — [1159] Morlot, Ueber die Diluvial- und Gletschergebilde zwischen Solothurn, Burgdorf und Langenthal, B. M., 1855, S. 25 ff.; Bachmann, Ueber die Grenzen des Rhônegletschers im Emmenthal, ebenda 1882, II, S. 25 ff.; Falsan, Esquisse géologique du terrain erratique de la région centrale du bassin du Rhône, B. S. G. Ln., IV, S. 97 ff.; Mühlberg, Ueber die erratischen Bildungen im Aargau, Aarau 1869; Die heutigen und früheren Verhältnisse der Aar bei Aarau, ebenda 1885. — [1160] Du Pasquier-Penck, Bemerkungen über das Alter und die Verbreitung des Lösses, G. Z., II, S. 109 ff. — [1161] Penck-Brückner-Du Pasquier, a. a. O., S. 7 ff. — [1162] Penck, Morphol., II, S. 131 ff. — [1163] Roebel, Die Ursachen der Oberflächengestaltung des norddeutschen Flachlandes, Ntr., XLI, S. 115. — [1164] Ch. Vogel, Mitteilungen aus dem östlichen Odenwald, N. V. E. D., (4) XV, S. 38 ff. — [1165] Berendt, Riesenkessel bei Uelzen, Berlin 1882. — [1166] Noetling, Ueber das Vorkommen von Riesenkesseln im Muschelkalke von Rüdersdorf, Z. d. G. G., XXXI, S. 359 ff. — [1167] H. Gruner, Ueber Riesenkessel in Schlesien, ebenda, XXXII, S. 183 ff. — [1168] v. Helmersen, Riesentöpfe in Kurland, ebenda, XXXII, S. 631. — [1169] Grewingk, Ueber zylindrische Strudel- und Sickergruben im devonischen Gipslager bei Dünhof oberhalb Riga, Dorpat 1880. — [1170] Commenda, Riesentöpfe bei Steyeregg in Oberösterreich, V. G. R., 1884, S. 308 ff. — [1171] Berendt, Ueber Riesentöpfe und ihre allgemeine Verbreitung in Norddeutschland, Z. d. G. G., XXXII, S. 56 ff. — [1172] F. X. Pfeifer, Ein Besuch des Rheinfalles bei Schaffhausen zur Zeit des Hochwassers im September 1888 und eines Riesentopfes des eiszeitlichen Rheingletschers, N. O., XXXV, S. 327 ff. — [1173] Neumayr-Uhlig, I, S. 479. — [1174] Penck, Ueber das Vorkommen von geologischen Orgeln und Riesenkesseln zu Rüdersdorf, Z. d. G. G., XXXI, S. 627 ff. — [1175] A. Heim, Handbuch etc., S. 545. — [1176] Lambert, Ueber die Bewegung von Fässern, in welchen Kugeln gerundet werden, A. r. a. M., II, S. 287 ff. — [1177] Runeberg, Bemerkungen wegen einiger Veränderungen der Erdoberfläche überhaupt und besonders in kalten Landstrichen, A. s. A. W. K., XXVII, S. 111 ff. — [1178] Schoepf, S. 73 ff. — [1179] Brongniart, Essai sur la géographie minéralogique des environs de Paris, Paris 1811, S. 87. — [1180] Matthieu, Note sur les orgues géologiques, J. M., 1813, S. 197 ff. — [1181] Penck, Die Geschiebeform. etc., S. 134. — [1182] Prestwich, On the Origin of the Sand- and Gravel-Pipes, Q. J. Gl. S., XI, S. 64 ff. — [1183] v. Ammon, S. 116 ff. — [1184] Schoenamsgruber, Die Diluvialfluten des Salzachgebietes, K. z. m. V. R., 1875, S. 135 ff. — [1185] F. Stark, Die bayerischen Seen und alten Moränen, Z. d. ö. A., IV, S. 67 ff. — [1186] Fugger-Kastner, Glaziale Erscheinungen in der Nähe der Stadt Salzburg, V. G. R., 1882, S. 158 ff.; Fugger-Kastner, Naturwissenschaftliche Studien und Beobachtungen aus und über Salzburg, Salzburg 1885. — [1187] Frauscher, Ergebnisse einiger Exkursionen im Salzburger Vorlande, ebenda 1885, S. 173 ff. — [1188] Fugger, Ueber einige atmosphäriche Erscheinungen (mit Anhang über die Eiszeit), Salzburg 1887. — [1189] Penck, Die Vergletscherung etc., S. 245. — [1190] Wettstein, Geologie von Zürich und Umgebung, Zürich 1885. — [1191] A. Favre, Sur l'origine des lacs suisses et des vallées, A. s. p. n., 1885, S. 278 ff.; L'ancien lac de Soleure, ebenda, 1883, S. 601 ff. — [1192] Baltzer, Der diluviale Aare- und Rhônegletscher, Z. d. G. G., XLVIII, S. 652 ff. — [1193] Penck, Der alte Rheingletscher auf dem Alpenvorlande, J. G. G. M., XI, S. 1 ff. — [1194] A. Favre-Falsan, Carte du phénomène erratique et des anciens glaciers du versant nord des Alpes suisses et de la chaîne du Montblanc, Genf 1884. — [1195] F. Bayberger, Geographische und geologische Studien aus dem Böhmerwalde, P. G. M., E. H., Nr. 81. — [1196] Kalkowsky, Ueber Geröllthonschiefer glazialen Ursprunges im Kulm des Frankenwaldes, Z. d. G. G., XLV, S. 69 ff. — [1197] Thürach, Ueber einige wahrscheinlich glaziale Erscheinungen im nördlichen Bayern, ebenda, XLVIII, S. 665 ff. — [1198] Klemm, Ueber die Glazialerscheinungen im Odenwald und Spessart, N. V. E. D., (4) XVI, S. 19 ff. — [1199] Blanckenhorn, Ueber das Diluvium der Umgegend von Erlangen, Koburg 1895. — [1200] Blanckenhorn, Pseudoglaziale Erscheinungen, Z. d. G. G., XLVIII, S. 382 ff. — [1201] Steinmann, Ueber die Bedeutung der tief gelegenen Gletscherspuren im mittleren Europa, B. XXIX. V. O. G. V., 1896. — [1202] Leppla, Die westpfälzische Moorniederung (das Gebrüch) und das Diluvium, S. A. M., M. P., 1886, S. 138 ff. — [1203] Mehlis, Diluviale Rheinkiesel aus der Pfalz, A., LXVI, S. 62; Neue diluviale Funde in der Pfalz, ebenda, LXVI, S. 494 ff.; Gletscherspuren im Hartgebirge, S. T. R. Z., V, S. 7 ff. — [1204] Leppla, War das Hartgebirge in der Diluvialzeit vergletschert? Gl., LVII, S. 97 ff. — [1205] F. Bayberger, Geographische Studien über das nordwestpfälzische Lauterthal; ein Beitrag zur Heimatkunde der Pfalz, Frankfurt a. M. 1899, S. 63 ff. — [1206] G. Gerland, Die Gletscherspuren der Vogesen, V. 4. d. G., S. 92 ff. — [1207] J. Partsch, Die Gletscher der Vorzeit in den Karpathen und in den Mittelgebirgen Deutschlands, Breslau 1882. — [1208] Ebenda, S. 78 ff. — [1209] Helland, On Fjords, Lakes and Cirques in Norway and Greenland, Q. J. Gl. S., XXIII, S. 142 ff. — [1210] Bonney, On Mr. Helland's Theory of the Formation of Cirques, Gl. M., 1877, S. 273 ff. — [1211] J. Partsch, Die Vergletscherung des Riesengebirges zur Eiszeit, Stuttgart 1894. — [1212] Michael, Die Gerölle- und Geschiebevorkommnisse in der Umgegend von Weimar, Weimar 1896. — [1213] L. Zech, Die geologischen Verhältnisse der nördlichen Umgebung von Halberstadt, Halberstadt 1894. — [1214] Bayer, Neues Vorkommen von glazialen Friktionserscheinungen auf Granit in der Lausitz, Z. d. G. G., XLVII, S. 211 ff. — [1215] Wahnschaffe, Ueber zwei neue Fundorte von Gletscherschrammen auf anstehendem Gesteine im norddeutschen Glazialgebiete, ebenda, XLV, S. 705 ff. — [1216] R. Beck-Doss, Die Grundmoräne des nordischen Binneneises bei Dresden, Isis 1891, S. 15 ff., 114 ff. — [1217] v. Siemiradzki, Beitrag zur Kenntnis des nordischen Diluviums auf der polnisch-litauischen Ebene, J. G. R., XXXIX, S. 451 ff. — [1218] Nikitin, Sur la constitution des dépôts quaternaires en Russie et leurs relations aux trouvailles résultant de l'activité de l'homme préhistorique, Moskau 1892. — [1219] R. Schaefer, a. a. O., S. 25. — [1220] Penck, Die Eiszeit in den Pyrenäen, Leipzig 1883. — [1221] Brückner, Die Eiszeit, P. G. M., XLI, S. 4 ff. — [1222] J. Geikie, The Great Ice Age and its Relations to the Antiquity of Man, London 1874; 2. Aufl. 1894. — [1223] Ebenda, S. 326. — [1224] K. J., IX, S. 280 ff. — [1225] Diener, Die Eiszeit im Himálaya, M. G. G. W., 1896, S. 1 ff. — [1226] Warren Upham, The recent and the plistocene Ice-Covering of the Earth, C. Gl. S. A., IV, S. 191 ff. — [1227] K. J., II, S. 291 ff. — [1228] Wahnschaffe, Mitteilungen über die Glazialgebiete Nordamerikas, Z. d. G. G., XLIV, S. 107 ff. — [1229] Sievers, a. a. O., S. 142 ff. — [1230] J. A. Deluc, Examen de la cause probable à laquelle Mr. de Charpentier attribue le transport des blocs erratiques de la Suisse, A. S. H. Sc. N., 1837, S. 29 ff. — [1231] Falsan, a. a. O., S. 117 ff. — [1232] O. Lang, Ueber die Bildungsverhältnisse der norddeutschen Geschiebeformation, Göttingen 1880. — [1233] Stapff, Zur Diluvialfrage, M. M. J. U. K., 1892, S. 174 ff. — [1234] v. Drygalski, Zur Frage der Bewegung von Gletschern und Inlandeis, N. J. M. G. P., 1890, II, 163 ff.; Ricketts, On some Erratics in the Boulder-Clay of Chesire, Q. J. Gl. S., XLI, S. 591 ff. — [1235] Triessl, Die angebliche Unhaltbarkeit der Sündfluttheorie, Th. M., II, S. 422 ff., 508 ff. — [1236] F. X. Pfeifer, Ueber die angebliche Unhaltbarkeit der Gletschertheorien und die vorgebliche Suffizienz der Sündfluttheorie, ebenda, II, S. 801 ff. — [1237] Penck, Die Vergletscherung etc., S. 251 ff. — [1238] C. A. Weber, Ueber die fossile Flora von Homer-

dingen und das nordwestdeutsche Diluvium, A. N. V. Br., XIII, S. 466 ff. — [1239] E. Geinitz, Kritik der Frage der interglazialen Torflager Norddeutschlands, A. V. F. N. M., S. 11 ff. — [1240] C. A. Weber, Ueber die diluviale Flora von Fahrenkrug in Holstein, B. J. S. P. P., XVIII, Beibl. 1 und 2; Zur Kritik interglazialer Pflanzenablagerungen, A. N. V. Br., XIII, S. 483 ff. — [1241] Nehring, Eine diluviale Wald- und Sumpfflora aus der Gegend von Kottbus, A., LXV, S. 305 ff. — [1242] Pichler-Unger, Beiträge zur Geognosie Tirols, Fd. Z., (3) IX, S. 167 ff. — [1243] v. Boehm, Die Höttinger Breccie und ihre Beziehungen zu den Glazialablagerungen, J. G. R., 1884, S. 147 ff. — [1244] Blaas, Die Glazialformation im Innthal, Fd. Z., (4) XXIX, S. 28 ff., 59 ff. — [1245] Penck, Die Höttinger Breccie, Wien 1887; Die grosse Eiszeit, H. E., IV, S. 1 ff., 74 ff., 112 ff. — [1246] Stur, Beitrag zur Kenntnis der Flora des Kalktuffs und der Kalktuffbreccie von Hötting bei Innsbruck, J. G. R., XII, Nr. 2. — [1247] v. Ettingshausen, Ueber die fossile Flora der Höttinger Breccie, S. A. W., M. N., XC, S. 260 ff. — [1248] Der Kalktuff von Flurlingen, N. R., IX, S. 464. — [1249] Waagen, Die karbone Eiszeit, J. G. R., XXXVII, S. 143 ff. — [1250] Ebert, Geophysikalische Studien, S. P. M. S. E., 1891, S. 142 ff. — [1251] Fiebelkorn, Die Entstehung des norddeutschen Flachlandes, Bb. M. Z., 1896, Nr. 8 und 9. — [1252] Du Pasquier, Sur la périodicité des phénomènes glaciaires post-miocènes, Neuenburg 1891; Glaciers et période glaciaire, ebenda 1896. — [1253] Ebenda, S. 10 ff. — [1254] A. Heim, Ueber das absolute Alter der Eiszeit, V. N. G. Z., XXXIV, 2. Heft. — [1255] Wimmer, Die historische Natur- und Kulturlandschaft, München, I, 1877; II, 1882. — [1256] Wimmer, Historische Landschaftskunde, Innsbruck 1885. — [1257] J. Braun, Historische Landschaften, Stuttgart 1865. — [1258] Walser, Veränderungen der Erdoberfläche im Umkreise des Kantons Zürich, seit der Mitte des XVII. Jahrhunderts, Bern 1896. — [1259] R. Wolf, Biographien etc., II, S. 49 ff. — [1260] Koeberlin, Zur historischen Gestaltung des Landschaftsbildes um Bamberg, Bamberg 1893. — [1261] C. Gruber, Adrian v. Riedl, der vornehmste bayerische Hydrograph, A., LXV, S. 129 ff. — [1262] v. Riedl, Stromatlass, München 1806. — [1263] Wimmer, a. a. O., S. 23 ff. — [1264] H. Kluge, Einiges über den zweiten Jerichower Kreis aus alter und neuer Zeit, Bb. M. Z., 1897, Nr. 39 und 40. — [1265] Roesler, Archäologische Untersuchungen in Transkaukasien 1891, V. B. G. An., 1896, S. 77 ff. — [1266] Löfgren, Om Sambaquis, B. C. G. Gl. P., Nr. 9. — [1267] G. Kolb, Spuren alter Kulturvölker in Ostafrika, J. V. E. Mz., XXIX, S. 63 ff. — [1268] Macaulay-Beseler, Geschichte von England seit dem Regierungsantritte Jakobs II., II, Braunschweig 1861, S. 3 ff.

Namenregister.

Abbay 289. 294.
Abbe 50. 429. 430. 438.
Abbot 624. 820. 821. 843.
Abegg 384. 386. 387. 393. 776. 838.
Abercromby 5. 32. 44. 46. 183. 201. 236. 240. 241. 245. 347. 360.
Abich 152. 162. 229. 244. 854. 875. 886. 947. 949. 950.
Abilgaard 882. 950.
Abney 101. 132. 265. 292.
Abogard 2.
Achard 13.
Ackermann 378. 393. 404. 417. 434. 438. 452. 465. 486. 488. 505. 529. 564. 572. 586. 592. 611. 622. 625. 628. 630. 631.
Adalbert (Prinz von Preussen) 95.
Adam 373. 374.
Adam (von Bremen) 533. 548. 556. 557. 597. 599. 629.
Adami 903. 952.
Adanson 539.
Addison 458. 487.
Adhémar 335. 336. 344. 579.
Adie 876. 949.
Aepinus 128. 134.
Agassiz (A.) 636. 651. 654. 655. 656. 657. 658. 880. 950.
Agassiz (E. C.) 417. 658. 764. 957.
Agassiz (L.) 410. 417. 651. 658. 724. 725. 730. 731. 732. 736. 737. 738. 739. 744. 764. 936. 943. 957.
Agricola 670. 671. 692. 794.
Ahrens 370. 374.
Aimé 399. 442. 443. 486. 496. 529.
Ainsworth 780. 838.
Airy 82. 88. 124. 125. 134. 442. 445. 461. 462. 463. 472. 474. 475. 478. 480. 486. 488. 489. 519. 555. 558.
Aitken 19. 20. 22. 25. 38. 45. 46. 51. 224.
Åkerblom 35. 47.
Alaminos 494.
Albers 540. 556.
Albert (Fürst von Monaco) 404. 497. 529.
v. Alberti 398. 679. 693.
Albertus Magnus 2. 40. 526. 560. 602. 618. 675. 793.
Albiruni 641. 698.
Albrecht 160. 161.
Alessandro degli Alessandri 675.
Alexander (d. Grosse) 927.
Alford 25. 46.
Alhazen (Ibn Haitham) 8. 9. 34. 91. 115. 132.
Ali Bey 719. 763.
Allon 893.
Alluard 109. 133.
Altmann 724. 736. 738. 745. 762. 764. 765. 767.
Alvord 25. 46.
Ambronn 93. 131.
Ameghino 682. 693.
Amersfoort 615. 630.
v. Ammon 608. 630. 800. 841. 935. 936. 938. 939. 941. 957. 958.
Amontons 56. 86.
Amort 3. 43.
Amsler Laffon 108. 109. 133. 704. 713. 819.
Anaxagoras 196. 831.
Anderlind 287. 294.
Anderlini 797.
Andrau 509.
André 140. 160.
André (Pater) 458.
Andreae 808. 811. 841. 842.
Andree 317. 657. 713.
Andrews 15. 45.
Andries 147. 159. 161. 163. 225. 234. 244. 245. 482. 483. 490.
Andronicus 72.
Andrussow 413. 688. 780. 838.
Angerer 288. 294.
Angersbach 897. 951.
Angot 185. 186. 240. 260. 270. 291. 292. 311. 318. 329. 343.
Angström 264. 291.
v. Anjou 502.
Ankel 344.
Anna (Kaiserin) 542.

Ansted 805. 841.
Antoine 444.
Antoninus (Kaiser) 571.
Apian (Peter) 44.
Apian (Philipp) 813. 946.
Appel 837.
Appelberg 832. 844.
Appius Claudius 783.
Arago 11. 41. 42. 47. 94. 99. 102. 131. 132. 144. 147. 152. 161. 162. 167. 176. 230. 244. 330. 321. 343. 384. 389. 420. 491. 517. 520. 528. 530. 531. 543. 557. 801. 841.
Aratus 163. 175.
Arbuthnot 149. 161.
Archibald 84. 156. 174. 177. 178. 952.
Archimedes 429.
Arends 612. 630.
Arendt 104. 132.
Aretaeus 372.
Argand 802. 841.
Aristoteles 1. 2. 4. 10. 43. 44. 45. 55. 72. 85. 119. 120. 125. 131. 133. 144. 161. 179. 231. 239. 245. 272. 292. 379. 424. 432. 438. 446. 449. 453. 454. 461. 462. 468. 486. 559. 585. 793. 794. 836. 840. 842.
Armstrong 17.
Arneth 487.
Arnott 29.
Arrhenius (Svante) 157. 162. 170. 177. 332. 334. 344.
Arzberger 400. 416.
Arzruni 630.
Asport (s. Nusser) 775. 837.
Assmann 6. 19. 20. 21. 22. 26. 27. 45. 46. 52. 85. 109. 159. 163. 207. 218. 242. 243. 252. 254. 281. 282. 289. 293. 349. 877. 949.
Attlmayr 5. 44. 217. 219. 243. 360. 393. 499.
Aubin 16. 17. 817.
Auerbach 474. 489. 530.
August 66. 67. 87.
Augustin 188. 240.
Augustus (Kaiser) 624. 675. 692.
Aventin 813.
Avienus 390. 394. 613.

Baader 515. 516. 530.
Babb 554. 558.
Babinet 102. 103. 122. 132. 914. 954.
Babo 15.
Baccius 798. 840.
Bache 410. 651.
Bacialli 398.
Bachmann 5. 44. 572. 586. 940. 958.
Bacon (Roger) 122.
Bacon (von Verulam) 4. 469. 488. 695.
Bäckström 502.
Baëff 737. 764.
v. Bär 304. 433. 438. 492. 505. 528. 529. 914. 915. 954.
v. Baeyer 62. 86. 189. 240.
Baffin 552.
Bagfield 595.
Baier 675. 692.
Baillie 399.
Baily 435.
Baines 914. 954.
Baker 741.
Balard 436. 439.
Baliani 171.
Ball (J.) 336. 344.
Ball (R.) 336. 337. 344. 480. 489. 921.
Ballo 166. 176.
Ballod 315. 318.
Ballou 219. 243.
Baltzer 710. 714. 860. 867. 878. 894. 942. 947. 948. 949. 951. 958.
Bamler 207. 242.
Bannasch 452. 486.
Barck 256.
Barral 528. 530. 531.
Barrande 676.
Barrington 320. 342.
Barrois 775.
Barrow 320. 342. 807. 841.
v. Barth 274. 292. 700. 713.
Bartoli 132. 263. 265. 291. 292.
Bartolinus 40. 392.
Bartlett 501. 876. 949.
Baruffi 550. 557.
Barus 672. 673. 693.
Baschin 85. 89. 760.
Batchelder 252.
Bauer (A.) 831. 844.
Bauer (K. L.) 811.
v. Bauernfeind 11. 44. 62. 63. 64. 86. 87. 92. 93. 94. 131. 567. 586. 670. 692. 704. 713. 818. 826. 843. 844.
Baumann (A.) 785. 838.
Baumann (F.) 165. 176.
Baumann (O.) 647. 658. 813. 842.
Baumer 663.
Baumgartner 782.
Baur 636. 657.
Baurmeister 228. 244.
Bauschinger 860. 947.
Baxendell 172. 174.
Bayberger (E.) 773. 837. 921. 955.
Bayberger (F.) 773. 837. 942. 958.
v. Bayer 317. 533. 556.
Bazin 483. 490. 821. 823. 843.
Beardmore 812. 842.
Beaufort 74. 88. 217. 351. 444. 450.
Beaufoy 73. 88.
van Bebber 2. 5. 14. 16. 23. 43. 44. 45. 46. 68. 71. 75. 87. 88. 163. 167. 170. 171. 175. 176. 177. 181. 182. 183. 191. 192. 193. 194. 202. 213. 214. 215. 217. 219. 229. 230. 239. 240. 241. 243. 244. 249. 250. 252. 277. 288. 289. 294. 311. 317. 318. 349. 351. 352. 353. 354. 356. 357. 360. 361. 362. 363. 373. 374. 451.
Beccaria 159. 163. 232. 245.
Becker 862. 942. 948. 958.
Becquerel 103. 132. 156. 162. 876. 949.

Beda (Venerabilis) 463. 488.
Beebe 515. 530.
Beechey 481. 489. 648. 658.
Beehler 525. 531.
Beer 779. 838.
Beete Jukes 627. 631.
Beetz 385. 393. 791. 839.
Beguelin 100.
Behm 380. 763.
Behrens 428.
Beissel 796. 840.
Beitzke 712. 713. 918. 954.
Belcher 402. 476. 489. 497.
Belgrand 801. 820. 834. 841. 843.
Bell 104. 924. 955.
Bellani 68. 87. 232. 233. 245.
Belknap 397. 402. 416.
Below 566. 586.
Bembo 602.
Benda 766.
Benecke 372. 896. 951.
Benedetto 379.
Beneš 707. 713.
Benndorf 625. 631.
Bennett 137.
Benoni 199. 241. 914. 954.
Benzenberg 23. 61. 86. 899.
Berdrow 899. 952.
Berendt 885. 939. 941. 957. 958.
Berg 70. 87.
Berg (Graf) 243.
van den Berg 366. 843.
Berga 379.
Berger (A.) 256.
Berger (H.) 86. 248. 271. 289. 292. 393. 471. 488. 489. 528. 529. 533. 556. 580. 585. 587. 612. 630. 631. 712.
Berger (J.) 197. 241.
Berggren 761.
Berghaus 181. 289. 376. 414. 497. 529. 720.
Bergman 107. 121. 134. 376. 395. 446. 486. 553. 557. 568. 586. 663.
Bergsma 166. 176.
Berlepsch 343.
Berndt 206. 212. 242. 243. 927. 956.
Bernhardi 936.
Bernoulli (Dan.) 165. 440. 466. 470. 471. 488. 805. 841.
Bernoulli (Jak.) 34. 46. 122. 134.
Bernoulli (Joh.) 105. 132.
v. Beroldingen 687. 694.
Berryman 402.
Berson 84.
Bert 370. 371. 374.
Bertin 442. 446. 486. 745. 757. 765. 767.
Berthold 167. 176. 258. 267. 291. 292.
Berthollet 13. 23.
Bertololy 443. 486. 626. 627. 631.
Bertrand (E.) 458.
Bertrand (J.) 82. 89.
Bertrand (M.) 868. 948.
Berzelius 581. 588. 667. 841.
Beseler 959.
Bessel 50. 62. 80. 81. 82. 85. 86. 88. 89. 92. 128. 131. 134. 154. 162. 164. 186. 270. 463. 488.
Bessels 42. 47. 127. 134. 135. 160. 316. 413. 417. 503. 529. 541. 546. 551. 556. 557. 566. 586. 595. 628. 739. 765.
Beudant 152.
Beyer 942. 958.
Beyrich 676. 680. 691. 693.
Beythien 382.
v. Bezold 4. 36. 37. 44. 47. 78. 84. 88. 89. 106. 109. 112. 132. 133. 144. 147. 161. 170. 175. 178. 194. 203. 204. 209. 223. 224. 225. 227. 233. 239. 241. 242. 243. 244. 251. 252. 289. 290.
Bezzenberger 618. 630.
Bhaskara Acharya 456.
Biancani (Blancanus) 42. 47. 380. 398. 416.
Bianconi 746. 765.
v. Biberstein 827.
v. Bibra 435. 439.
Bidone 440. 486.
Bieber 785. 839.
Biedermann 372.
Biehringer 11. 44. 189. 209. 240. 242.
v. Biela 112. 164.
Bierens de Haan 120. 134.
Bjerkander 256.
Biermann 117. 133.
Biese 712.
Bigourdan 196. 241.
Billwiller 116. 133. 175. 198. 210. 211. 241. 242. 243. 251. 252. 254. 255. 289. 290.
Binnie 71. 88.
Biot (E.) 321. 343.
Biot (J.) 117. 133. 140.
Birnbaum 131.
Bischof 667. 668. 672. 692. 797. 798. 799. 840. 870. 905. 915. 919. 949. 953. 954. 955.
Biscoe 554.
Biselx 745. 765.
Bishop 110. 111. 112. 114. 133.
Bittner 850. 860. 946. 947. 948.
Blaas 568. 586. 669. 692. 938. 944. 959.
Black (J.) 14.
Black (W. G.) 434.
Blainville 642.
Blakadder 437.
Blake 156. 587.
Blanc 913. 930. 953. 956.
Blancanus (Biancani) 42. 47. 380. 398. 416.
Blanchard 947.
Blanckenhorn 561. 585. 866. 923. 942. 948. 955. 957.
Blanford 172. 174. 177. 178. 181. 185. 186. 193. 197. 239. 241. 283. 287. 293. 294. 309. 317. 637. 657.
Blasius 786. 839.
Blavier 321. 336. 343.
Blažek 514. 530.

Bleffken 807.
Blink 309. 311. 317. 318. 509. 530. 612. 615. 630. 631. 785. 839.
Bliss 672. 673. 692.
Blochmann 16. 45.
Blotnitzki 242.
Bludau 772. 814. 836. 842.
Blümcke 738. 739. 740. 765. 877. 893. 949. 951.
Blumenbach 886. 950.
Blunt (Lady) 891.
Blytt 330. 331. 336. 343. 344. 582. 588.
Boas 386. 394. 776. 838.
Boccardo 650. 658.
Bochdanowitsch 913.
Bock 38. 47. 687. 694.
Bode 381. 393.
Bodmer 833. 910. 953.
v. Bodungen 786. 839.
Boeckmann 348. 349. 360.
v. Böhm 706. 712. 713. 714. 773. 837. 886. 892. 921. 944. 949. 951. 955. 959.
Bölsche 682. 693.
Boemer 884. 950.
Börgen 466. 471. 475. 476. 477. 478. 479. 488. 489. 551. 552.
Börnstein 60. 86. 169. 177. 227. 228. 244.
Börsch 395. 416. 700. 713.
Boettger 360. 393. 530. 531. 648. 658.
Bötticher 511. 530.
Böttiger 152. 162.
Bogdanoff 926.
v. Boguslawski (G.) 354. 360. 376. 382. 387. 392. 393. 394. 395. 402. 403. 404. 407. 411. 416. 417. 425. 432. 433. 435. 437. 438. 439. 486. 487. 488. 489. 490. 528. 529. 530. 531. 540. 542. 549. 556. 557. 631. 709. 714.
v. Boguslawski (P. H. L.) 44.
Bohn 12. 45. 85. 242. 486.
Bohnenberger 67. 138. 143.
Bokorny 826. 844.
Bolivar 382.
Boll 452. 459. 486. 487. 939. 957.
Bollaert 956.
Bolle 374.
Boltzmann 58.
Bombicci 233. 245.
Bonaparte (Prinz) 748. 766.
Bonnet 16. 45. 93. 131. 256.
Bonney 942. 958.
Bonsdorff 568. 569. 586.
Borda 376.
Bordier 732. 746.
Borius 369. 374.
Bormann 4. 44.
v. Born 676. 691. 692.
Bornhöft 592. 628.
Bory de St. Vincent 900. 952.
Bosanquet 103. 132.
v. Boslarn 149. 161.
Botéro 376. 392. 505. 527. 529. 531.
Bothe 414.
Bottomley 747. 766.
Bouchet de Perthes 682. 693.
Bouchut 371. 374.
Boudet 799. 840.
Boué 416. 695. 711. 712. 714. 879. 905. 919. 949. 952. 955.
Bouguer 73. 74. 88. 96. 98. 100. 124. 129. 131. 184. 262. 291. 388. 394. 719. 763. 818.
Boule 774. 837.
Boun-Debesch 691.
Bourdon 57. 58. 907. 953.
Bourke 492.
Bournes 653. 658.
Boussinesq 442. 485. 486. 707. 708. 713. 813. 822. 823. 842. 843. 895. 951.
Boussingault 17. 258. 289. 290. 294.
Bouthillier de Beaumont 617. 630.
Boutron 799. 840.
Bouvard 41. 166. 176.
Bouvet 537.
Boyd Dawkins 682. 693. 900. 903. 952.
Boyle 4. 10. 13. 44. 392. 429. 438. 535.
Boys 57. 86.
Brackebusch 728. 764.
Bradley 92.
Brahe (Tycho) 3. 43. 91. 171. 323. 343. 514.
Brahmt 821.
v. Branco 868. 948.
Brandes (H. W.) 4. 44. 61. 93. 100. 124. 130. 165. 176. 179. 190. 222. 239. 243. 440. 462. 464. 468. 486. 677.
Brandes (R.) 152. 162.
Brandis 287. 294.
Branky 394.
Brathuhn 670. 692.
Brauer 647. 658.
Brault 305. 317.
Braun (Al.) 800.
Braun (E.) 687. 694.
Braun (J.) 488. 945. 959.
Braun (W.) 170. 177.
v. Braunmühl 134.
Brauns (D.) 565. 576. 586. 668. 679. 692. 693.
Brauns (F. A.) 543. 544. 557.
Brauns (R.) 670. 692.
Bravais 105. 117. 123. 124. 126. 130. 132. 133. 134. 135. 160. 266. 292. 420. 561. 562. 583. 588.
Brehm (A. C.) 783. 838.
Brehm (C. L.) 346. 360.
Brehme 317.
Breitenlohner 54. 86. 129.
Breislak 566. 586. 665. 666. 691.
Brémontier 482. 483. 489.
Brendel 770. 836.
Brenner 229. 244. 579. 587.
Breusing 88. 416. 488. 496. 529.
Brewer 672. 673. 692.
Brewster 102. 103. 132. 731.
Briancourt 452.
Brisse 327. 343.
Britzke 278. 293.

Brocard 3. 43. 163. 175. 178. 239. 313. 318. 320. 343. 348. 360. 931. 956.
van den Broeck 43.
Brögger 609. 630.
Brogniart 332. 344. 677. 693. 941. 958.
Bromeis 786. 798. 839. 840.
Bronn 676. 692.
Brooke 77. 399. 410.
Brotbeyel 134.
Broun 174. 177. 178. 760.
Brounow 215. 243.
Browallius 563. 577. 585.
Browne 745. 756. 765. 767.
Bruce 222.
Bruchhausen 335. 344. 583.
Bruckmann (A. G.) 801. 841.
Bruckmann (J. A.) 801. 841.
Bruckner 704.
Brück 707. 713.
Brücke 100. 132.
Brückner 70. 288. 294. 319. 321. 323. 324. 325. 326. 327. 329. 330. 331. 336. 341. 342. 343. 344. 345. 465. 488. 567. 580. 580. 586. 588. 706. 713. 721. 750. 751. 756. 763. 766. 767. 791. 827. 832. 839. 844. 846. 886. 894. 938. 940. 942. 943. 945. 946. 950. 951. 957. 958.
Brünnich 663.
Brünning 819. 843.
Bruhns 91. 131. 162. 354. 360. 691. 692. 694. 709. 713.
Bruijning 267.
Brunnelli 484.
Brunner 67. 87. 541. 556.
Brun 27. 46.
Bruns 189. 240.
Bruschius 769. 836.
Buache 376. 377. 392. 395. 416. 699. 712. 917. 954.
Bubendey 832. 844.
Buccich 205. 242.
v. Buch 4. 78. 88. 171. 176. 233. 245. 311. 318. 395. 543. 557. 563. 578. 585. 587. 591. 607. 628. 629. 638. 648. 657. 667. 675. 676. 679. 688. 692. 693. 712. 714. 717. 763. 800. 840. 856. 857. 905. 936. 947. 952. 953. 957.
Buchan 181. 186. 239. 240. 324. 343.
Buchanan 409. 413. 417. 428. 430. 434. 438. 492. 540. 556. 622. 631.
Buchgruber 901. 952.
Buchner 369. 374.
v. Buchwald 369. 374.
Buckland 667. 691. 905. 936. 953.
Bühler 229. 231. 244. 245.
Bülau 88.
Bürkli 952.
Büsch 116. 133. 395.
Bütschli 876. 949.
Büttikofer 302. 317.
Buff 156. 491. 528. 915. 954.
Buffon 100. 376. 392. 395. 416. 424. 523. 532. 556. 638. 657. 664. 691.
Bunge 573. 587. 759.
Bunsen 96. 104. 280. 293. 385. 393. 522. 535. 556. 805. 807. 809. 810. 811. 841. 842.
Bunten 420. 437.
Burckhardt (K. F.) 48. 85.
Burckhardt (J. K.) 488.
Burgkhardt 708. 713.
Burkhard-Jetzler 107. 132.
Burmeister 315. 318.
Burnet 663. 691.
Bursian 932. 956.
Busch 102. 103. 110. 111. 115. 128. 132. 133. 134.
Buschan 367. 374.
Buss 897. 952.
Buys-Ballot 4. 168. 169. 173. 176. 177. 179. 190. 191. 240. 241. 249. 345. 348. 354. 355. 360. 361.

Cabeo 818.
Cabot 463. 494. 504. 552.
Cabral 494.
Cadell 871. 949.
Cäsar 160. 624. 679.
De Caldas 65. 87.
Calderon 466. 488.
Caligny 442. 443. 486.
van Calker 886. 939. 950. 957.
Callaway 868. 948.
Calvert 573. 587.
Camerlander 813. 842.
Cameron 816.
Campbell 76. 243. 654. 658.
Canton 392.
Cantoni 22. 25. 46. 69. 87. 281. 860.
Cantor 44. 131. 486. 487. 675. 692. 713.
Canu 339. 344.
Capocci 164.
Capper 457. 487.
Capron 104.
Capuanus de Manfredonia 560.
Carasquilla 169. 177.
v. Carnall 685.
Carey 428.
Carl 102.
Carlisle 768.
Carnot 732. 764.
Carus 317. 318. 568. 587. 628. 657.
Carové 85.
Carstaedt 131.
Carpenter 416. 490. 491. 501. 515. 516. 527. 528. 529. 530. 531.
Cartellieri 785. 798. 839. 840.
Cartheuser 798. 840.
Carus 642. 657. 658. 764. 950. 955.
Casati 827. 844.
Casella 421. 422.
Cassini (D.) 128. 801.
Cassini (J.) 61.
Castberg 420. 437.
Castellanos 575.
Castelli 49. 823. 843.
Cauchy 440. 486.

Cavalleri 470.
Cavallo 64.
Cavendish 768.
Celoria 172. 174. 177. 324. 343.
Celsius 50. 61. 85. 563. 571. 577. 585.
Celsus 372. 374.
Celtis 687. 694.
Cerebotani 77.
Cethegus 783.
Cetti 55.
Cézanne 835. 845.
Chacornac 348.
Chaix 198. 241. 879. 949.
Chladni 221.
Challis 478. 489.
Chalmer 466. 488.
Chamberlin 886. 950.
Chambers 174. 560. 562. 563. 584. 585. 595.
v. Chamisso 402. 638. 644. 648. 649. 657. 786. 839.
Chanikow 327.
Chancourtois (Beguyer de) 668. 692. 870.
Chanzy 929.
Chapman 432. 808. 841.
Chappuis 15. 45.
Charles 10. 151. 162.
Charpentier (J.) 341. 663. 717. 736. 744. 763. 936. 937. 957.
v. Charpentier (W.) 689. 694.
Chavanne 548. 557. 709. 713. 816. 842.
Cheauveau 141. 160.
Chelius 929. 956.
Chevallier 219. 243.
Chiaramonti (Claramontius) 793. 823. 843.
Chiminello 165. 176.
Chistoni 25.
Chladni 154. 162. 320. 342.
Cholnoky 459. 460.
Christiansen 160. 240. 245. 266. 292. 530. 531.
Chun 391. 394. 403. 413.
Church 754. 766.
Chwolson 263. 291.
Chydenius (K.) 410.
Chydenius (S.) 563. 585.
Cialdi 442. 486. 601. 613. 629. 630.
v. Claiss 685.
Clark 799. 840.
Clarke 132. 134. 222. 393. 636. 657.
Classen 833. 845.
Classon 17.
Claude 839.
Clausius 15. 21. 45. 98. 100. 105. 116. 119. 125. 128. 129 131. 132. 133. 134. 347. 360.
Clavé 286. 294.
Clayden 37. 47. 145. 161.
Clayton 31. 35. 46. 47.
Clement 805.
Clessin 786. 839. 935. 957.
Clos 170.
Cloué 454. 487.
Clüver 664. 691.
Coaz 218. 242. 243. 321. 722. 763.
Cochlaeus 19. 45. 379. 393.
Cock 1. 4. 43. 44.
Coffin 190. 240. 305. 310. 317.
Cohn 149. 260. 800. 840.
Cold 573. 587. 624. 631.
Colding 451. 491. 517. 528. 530.
Coles 807. 841.
Colladon 149. 161. 222. 243. 893.
Collinson 162.
Collomb 718. 763.
Colson 860.
Columbus 379. 389. 494. 496. 497. 528. 632. 854. 947.
Columella 2.
Comenius 642. 657.
Commenda 708. 713. 941. 948.
Comoy 481. 483. 485. 489. 490.
Comstock 810. 842.
v. Conches 469. 488.
Constantinus (Kaiser) 128.
Contejan 892. 951.
Contin 409. 417.
Conwentz 687. 694.
Cook 104. 376. 402. 532. 538. 554. 556. 841.
Coppernicus 343. 379. 393. 514. 530.
Cora 555.
Coriolis 192. 241.
Cornelius 5. 44. 241.
Cornet-Briart 603. 629.
Cornu 103. 104. 107. 127. 132. 134.
Correa 496.
Cortereal 552.
Cosserat 658.
v. Cotta 669. 684. 692. 694. 840. 886. 950.
Cotte 4. 44. 170. 257. 290.
Coulomb 137. 160.
Coupvent Des Bois 444. 486.
Courbon 572.
Cournot 82. 88.
Cousin 134.
Cousté 234. 245.
Coxe 738. 764.
Cramer (G.) 46. 132. 134.
Cramer (H.) 755. 756. 757. 758. 766. 767.
Crammer 904. 952.
Crantz 532. 540. 556.
Cranz 789. 829. 839. 844.
Craven 503.
Credner (R.) 452. 486. 487. 599. 612. 622. 624. 625. 626. 629. 630. 631. 771. 772. 836. 891. 919. 940. 951. 955. 957.
Credner (H.) 669. 692. 831. 844. 904. 939. 952. 957.
Crolle 73. 88.
Crocker 483.
Croll 336. 341. 344. 491. 501. 516. 528. 530. 579. 746. 765.
Crosby 585. 588. 856. 947.
Crozé 84.
Crova 101. 132. 263. 265. 291.
Culmann 704. 713.
Culverell 336. 337. 344.

Cumbary 348.
Cunningham 821. 843.
Curman 307. 317.
Curtze 44. 557.
Cusa (Kardinal) 65. 87. 398. 416.
Cuvier 583. 642. 667. 676. 691. 857.
Cvijić 806. 837. 841. 881. 902. 930. 931. 932. 933. 934. 950. 952. 956. 957.
Czech 712. 714.
Czermak 121. 123. 134.
v. Czerny 171. 177. 178. 319. 320. 342. 343. 376. 393. 859. 947. 949.
Czerski 772.

D'Abbadie 65. 87.
Dablon 458.
D'Acosta 199. 370.
Dade 170. 177.
Däubler 366. 344.
Dahlander 583.
D'Ailly 379.
Dalager 760.
D'Albéa 621. 631.
Dalberg 73. 88.
D'Alembert 80. 165. 176. 178.
D'Alibard 150.
Dalin 563. 585.
Dall 406. 508. 530. 574. 587. 759. 767.
Dallas 200. 241. 309. 317.
D'Alessandro 454. 487.
Dalrymple 648.
Dalton 10. 16. 23. 44. 46. 542. 556.
Dambegis 840.
Dames 681. 693.
Damian 773. 837.
Dammer 95. 131.
Dampier 196. 219.
Dana 604. 607. 629. 646. 648. 650. 651. 655. 658. 668. 692. 855. 858. 861. 905. 947. 953.
v. Danckelman 111. 133. 147. 161. 230. 244. 302. 308. 317.
Daniel 393.
Daniell 53. 66. 87.
Dankwert (= Danckwerth) 597. 629.
Dankwortt 186. 240.
Dannemann 14. 44. 45. 86. 642. 657. 666. 691.
D'Annone 324.
Dante 382. 393. 793. 896. 951.
D'Archiac 660. 691.
Darcy 792. 821. 823. 839. 843.
Darier 893.
D'Arrest 105.
Darwin (Ch.) 300. 315. 317. 318. 558. 564. 574. 575. 586. 587. 600. 604. 606. 622. 628. 629. 631. 636. 644. 645. 646. 647. 648. 649. 650. 651. 652. 653. 654. 655. 656. 657. 658. 691. 714. 727. 728. 764. 882. 923. 950. 955.
Darwin (G. H.) 43. 179. 235. 237. 239. 344. 476. 478. 479. 480. 489. 626. 627. 631. 861. 864. 895. 948. 951.
Dary 235. 245.
Dau 786. 839.
D'Aubuisson 719. 763.
Daubrée 661. 662. 688. 691. 787. 795. 796. 797. 802. 811. 825. 839. 840. 841. 844. 867. 870. 871. 872. 873. 882. 901. 905. 947. 949. 952.
Daussy 497.
Daval 134.
Davenport 464.
D'Avezac 72. 88.
Davidson 918. 954.
Davis (J.) 532. 552.
Davis (W. A.) 5. 44.
Davis (W. M.) 5. 32. 44. 46. 178. 193. 195. 204. 208. 223. 236. 241. 242. 245. 306. 317. 836. 845. 867. 903. 915. 917. 919. 924. 928. 939. 948. 952. 954. 955. 956. 957.
Davison 43.
Davy (H.) 13.
Davy (J.) 385. 393. 435. 439. 776. 804.
Dawson 300. 317. 504. 595. 943.
Dayman 402.
De Agostini 388. 394. 772. 773. 778. 813. 830. 836. 837. 838. 842. 844.
De Bordes 843.
De Candolle 258. 291. 322. 343. 627. 631.
De Castro 648.
De Chaves 2. 43.
Dechevrens 72. 88. 188. 195. 240. 241. 444.
De Chézy 821.
Deckert 728. 764.
De Dominis 119. 133.
Deecke 612. 630.
De Geer 568. 569. 586.
Degener 577. 587.
De Goeye 913. 953.
Dehérain 252. 290.
Deichmüller 175. 178.
Dekker 612. 630.
Delabar 416.
De la Beche 857. 947.
De la Condamine 484. 490. 719. 763.
De la Espada 636. 657.
De la Hire 9. 40. 184. 793.
De la Métherie 793. 801. 839. 841. 856. 918. 919. 947. 954.
De la Moussaye 908. 953.
De la Noë 842.
De Lapparent 407. 417. 555. 669. 692. 709. 714. 861. 864. 948.
De la Rive 66. 108. 133. 209. 234. 245.
De Launay 957.
Delcros 229.
Delebecque 753. 766. 774. 778. 780. 837. 838.
Delisle 50.
Delitsch 711. 714.
Dellmann 137. 160. 277. 293.
De Long 402.
De Lors 150.
Delprat 820. 843.
Deluc 21. 25. 45. 46. 50. 61. 65. 86. 87.

232. 245. 324. 665. 666. 708. 713. 757. 767. 943.
De Maillet (Telliamed) 577. 587. 663. 676. 691.
De Maistre 384.
De Marchi 5. 44. 179. 182. 194. 239. 241. 246. 289. 334. 344. 749. 766.
De Margerie 842. 846. 869. 946. 947. 948.
De Marty 13.
De Mechel 374.
Demitschki 469. 488. 698.
Demokrit 831.
Démontzey 832. 836. 844. 845.
De Mortillet 607. 629.
Demosthenes 201.
De Nadaillac 275. 292. 682. 693.
Deneke 23. 46.
Denham 398. 416.
Dennis 19. 45.
Denso 320. 342. 692.
D'Entrecasteaux 402. 500.
Denza 287. 294.
Denzler 206. 242. 401. 919. 954.
Derby 917. 954.
De Romas 136.
De Rotrou 327. 343.
Desaguliers 399.
De Saporta 338. 344. 540. 541. 556.
Desbiey 617. 630.
Descartes (Cartesius) 40. 92. 119. 120. 121. 131. 134. 469. 470. 661. 662. 691.
Deschales 154. 171. 429. 438.
Deschmann 148. 161.
Deschnew 552.
Descloizeaux 810.
De Seissa 83.
De Seue 732. 764.
Desmarest 395. 543. 544. 545. 557. 663. 664. 699.
Desor 209. 210. 242. 626. 631. 725. 764. 804. 841. 919. 923. 927. 929. 955. 956.
Desormes 805.
Despretz 10. 44. 419. 437.
De St. Martino 65.
De Sugny 5. 44.
De Tessan 508. 530.
De Vescovi 773. 837.
Devil 290.
De Villers 619. 631.
Dickson 429. 552.
Dicuil 458.
Dieffenbach 947.
Diekmann 134.
Diels 287. 294. 488. 559. 585.
Diener 710. 714. 736. 765. 809. 841. 866. 869. 881. 886. 907. 908. 923. 935. 943. 948. 950. 953. 955. 958.
Dierks 931. 956.
Dieterici 245.
Dietrich 409. 417. 664.
van Diggelen 615. 630.
Diguet 412. 417.
Diller 153. 162.
Dines 70. 87.
Dinklage 45. 502. 538. 556.
Dinning 748. 766.
Dinse 604. 605. 606. 629.
Diodor (von Tarsus) 787.
Diogenes (Laertius) 839.
Dippe 190. 240.
Discher 160. 162.
v. Ditmar 758. 767.
Ditterich 798. 840.
Dittmar 836.
Divisch 149. 150.
Doberck 51. 220. 243.
Doberentz 657.
Döbereiner 13.
Döderlein 676. 693. 763.
Dollfuss-De Montserrat 809. 842.
Dollfus-Ausset 733. 764.
Dollo 646. 658.
Dolomieu 665. 666. 691.
Dombart 292.
Domeyko 575. 587.
v. Donat 783. 838.
Donati 565. 586.
Doppelmayr 131.
D'Orbigny 679. 680. 693.
Doria 830. 844.
Dorr 695. 712. 856. 947.
Dorsey 323.
Dorst 549. 557.
Doss 942. 958.
Douglas 112. 156.
Dove (H. W.) 4. 5. 79. 88. 179. 188. 199. 203. 208. 209. 214. 233. 235. 236. 237. 239. 241. 242. 251. 258. 289. 290. 303. 308. 310. 317. 324. 343. 380. 393. 476. 489. 768. 836. 842.
Dove (K.) 302. 313. 317. 318.
Doyle 412. 417. 624. 631.
Dränert 315. 318.
Draper 323. 343. 827. 844.
v. Drasche 573. 579. 587.
Drebbel 48.
Drechsler 5.
Dreher 131.
Dreisbach 110. 133.
Drishenko 775. 837.
Drobisch 407. 417. 467. 488.
Drude 257. 259. 260. 290. 390. 394. 455. 487. 838. 928. 956.
v. Drygalski 385. 393. 534. 555. 556. 558. 583. 588. 608. 609. 630. 760. 761. 762. 767. 864. 905. 938. 943. 948. 952. 957. 958.
Dubois (E.) 333. 344. 682. 693.
Du Bois-Reymond 454. 487. 525. 531.
Du Boys 459. 487. 824. 843.
Dubuat 824. 843.
Dühring 488.
Du Fay 150.
Dufour (Ch.) 94. 131. 230. 244. 253. 290. 722.
Dufour (H.) 67. 87. 123. 134.
Dufour (L.) 110. 209. 234. 242. 322. 324. 343. 757. 767.

Duile 835.
Dulac 943.
Dulk 128. 134.
Dumas 557.
Dumont d'Urville 402. 420. 491. 528. 537.
Dunér 36.
Dunker 677. 914. 915. 954.
Dunwoody 314. 318.
Duparc 737. 753. 754. 764. 766. 780.
Du Pasquier 459. 487. 751. 752. 766. 937. 938. 940. 945. 957. 958. 959.
Duperrey 506. 507. 530.
Du Petit Thouars 420.
Dupont 651. 658.
Dupré 730. 764.
Duprez 139. 160.
Dupuit 787. 788. 839.
Durham 672. 692.
Durier 754. 766.
Duro 2. 43.
Durocher 436. 439. 726. 764.
Dutton 282. 858. 862. 864. 888. 907. 948. 951. 953. 955.
Duveyrier 143. 161.
Dybowski 772. 836.
Dyrenforth 39.

Ebel 205. 699. 712. 713. 807. 841.
Ebermayer 18. 20. 45. 69. 280. 285. 286. 287. 288. 293. 294. 785. 839.
Ebert 157. 162. 811. 842. 944. 959.
Echterling 152. 162.
Eck 587. 698. 712. 812. 842.
Eckert 286. 294. 879. 881. 950.
Eddystone 448.
Edelmann 67. 87. 137.
Eden 528.
Edlund 159. 163.
Egede 533. 556.
v. Eggers 310. 314. 318. 647. 658. 799. 840.
Egli 837.
Ehemann 338. 344.
v. Ehmann 834. 845.
Ehrenberg 19. 45. 387. 392. 394. 642. 644. 657. 688. 694. 716. 763.
Ehrenburg 193. 241. 415. 418. 906. 953.
Eichhorn 18.
Eichler 520. 531.
v. Eichwald 802. 841. 933. 957.
Eickemeyer 704. 713.
Eilker 451. 486. 611. 630.
Eisenlohr (O.) 164. 166. 170. 175. 176. 257. 361.
Ekama 90. 131.
Ekholm 35. 36. 47. 170. 177. 182. 191. 202. 240. 241.
Ekman 429. 519. 531.
Eldridge 847. 946.
Elegram 480.
Elfert 29. 46. 124. 134. 705. 713.
Elie de Beaumont 395. 416. 548. 557. 594. 624. 628. 631. 661 662. 668. 691. 693. 745. 765. 853. 857. 947.
Elliot 166. 176. 215. 243.
Ellis 420.
Ellner 346. 360.
Elster 83. 89. 132. 140. 142. 143. 157. 160. 161. 162. 224. 233. 244. 279. 293.
Embacher 553. 557.
Emden 27. 46. 84. 730. 757. 764.
Emerson Reynolds 516. 530.
Emin Bey (Schnitzer) 826. 844.
Emmrich 712.
Emsmann 374. 399. 416. 796. 840.
Endlich 886. 949. 950.
Endriss 685. 694.
Engelbreit 818. 843.
Engelenburg 222. 225. 234. 243. 245. 478.
Engelhardt (P.) 926. 955.
v. Engelhardt 380. 393. 548. 557. 763. 764.
Engelman 39. 47.
Engelmann 88.
Engler 15. 45. 555. 558. 688. 694.
Erasmus (San Elmo) 142.
Eratosthenes 271. 505. 559. 698.
v. Erckert 913. 953.
Erich 563.
Erk 78. 84. 88. 175. 198. 206. 207. 211. 227. 241. 242. 244. 283. 293. 331. 344.
Erman (A.) 164. 176. 261. 291. 491. 528. 720. 763.
Erman (P.) 419. 542. 556.
Ernst 230. 244.
Ernst (Herzog) 533.
van Ertborn 615. 630.
Ertel 843.
Erzherzog (?) 241.
Eschenbach 839. 841. 947. 955.
Escher v. d. Linth 209. 242. 739.
Eschholtz 727. 759. 764.
Eschmann 738.
Esmark 936.
Esper 900. 952.
Espy 179. 190. 209. 219. 239. 242.
Ethé 131. 488. 528.
v. Ettinghausen 944. 959.
v. Etzel 404. 417.
Eudoxus 831.
Euler 41. 47. 80. 165. 238. 440. 470. 518.
Eupolis 285.
Euringer 725. 764.
Eusebius 128.
Euthymenes 831.
Evans 358. 361. 402.
Ewald 587. 667. 675.
Exner (F.) 136. 137. 139. 140. 141. 142. 156. 157. 160. 162. 163. 419. 437.
Exner (K.) 94. 95. 125. 128. 131. 134.
Eylert 59. 86.
Eytelwein 488. 802. 819. 820. 821. 841. 842. 843.

Faber 916. 954.
Faber (Stapulensis) 45.
Fabre 835. 845.

Fabri 49.
Fabricius (E.) 628. 631.
Fabricius 490.
Fänner 828. 844.
Fahrenheit 26. 49. 50. 64.
Falb 164. 166. 167. 168. 169. 176. 360. 831. 844.
Falk 36. 47.
Falsan 886. 940. 950. 958.
Famintzin 252. 290.
Faraday 158. 233. 732. 764.
Fatio de Duiller 457. 458. 487.
Faujas de la Fond 681. 693.
Fautrat 286. 294.
Favaro 49. 85. 469. 488.
Favre 341. 849. 870. 886. 921. 942. 946. 949. 950. 958.
Faye 156. 162. 163. 175. 222. 234. 238. 243. 340. 344.
Fedjenko 748.
Feer 897. 951.
Fehling 799. 840.
v. Feilitzsch 805. 841.
Felberg 187. 240.
Felbiger 348. 360.
Feld 87.
Felix 781. 838. 886. 950.
Felking 366. 373.
Ferber 663. 664. 671. 691.
Ferguson 35. 47.
Ferrari 158. 163. 225. 244. 283. 293.
Ferrel 67. 87. 113. 179. 192. 219. 222. 235. 236. 237. 241. 245. 265. 458. 472. 476. 478. 487. 489. 491. 528.
Festing 265. 292.
Feuerlein 663. 691.
Feussner 35. 47.
Feye 148. 161.
Fichtel 432. 438.
Fick 157. 162.
Fiebelkorn 945. 959.
Fiedler (B.) 708. 713.
Fiedler (K. G.) 152. 162.
Filarsky 785. 838.
Filipow 327. 343. 913.
Findlay 490. 499. 503. 507. 520. 531.
Finemann 76. 88.
Finger 189. 240. 914. 954.
Finke 20. 45.
Finley 221. 243.
Finsch 313. 318.
Finsterwalder 84. 89. 221. 243. 281. 293. 706. 707. 713. 735. 737. 738. 739. 742. 743. 744. 748. 753. 754. 765. 766. 893. 951.
Firmicus Maternus 661.
Fischart 346.
Fischer (A.) 94. 131.
v. Fischer-Benzon 43. 47.
Fischer (Ch. T,) 617. 630.
Fischer (E. G.) 23. 46.
Fischer (H.) 274. 292. 621. 631. 632. 656. 661. 691. 715. 763.
Fischer (J. C.) 471. 489. 793. 839.
Fischer (J. N.) 149. 161.
Fischer (K. T.) 455. 487.
Fischer (St.) 614. 630.
Fischer (Th.) 20. 45. 161. 298. 316. 323. 343. 382. 453. 487. 529. 572. 586. 613. 630. 639. 657. 848. 853. 929. 946. 947. 956.
Fisher 336. 344. 583. 588. 855. 861. 947. 948.
Fittbogen 17.
Fitzgerald 53. 85.
Fitzpatrick 412.
Fitzroy 354. 420.
Flammarion 47. 89. 111, 131. 133.
Flaugergues 166. 176. 440. 486.
Flauhault 800.
Fleischer 119. 133. 786. 839.
Fleischmann 208. 242.
Fleurieu 377. 393. 381.
Flexig 798. 840.
Flögel 8. 44.
Florschütz 884. 950.
Fludd 48. 154.
Flurl 683. 693.
v. Fodor 17.
Förster (B.) 694.
Förster (C.) 414. 418.
Förster (W.) 115. 133. 173.
Foerstle 906. 953.
Foissac 372. 374.
Fol 388. 394.
Folgheraiter 773. 837.
Folie 129. 134.
Follmann 773. 837,
Fonvielle 47. 89.
Fontana 13.
Fontès 915. 954.
Forbes (D. J.) 100. 101. 132. 262. 275. 291. 292. 584. 588. 689. 694. 731. 738. 746. 764. 765. 804.
Forbes (H. O.) 886. 950.
Forcher-Mayr 711. 714.
Forchhammer (J. G.) 435. 439. 564. 571. 586. 614. 630.
Forchheimer 834. 845. 882. 950.
Forel 112. 196. 241. 326. 343. 379. 385. 388. 389. 393. 394. 425. 426. 438. 457. 458. 459. 460, 461. 487. 488. 627. 631. 730. 731. 733. 739. 740. 745. 747. 748. 749. 751. 753. 764. 765. 766. 773. 774. 777. 778. 779. 817. 830. 837. 838. 844. 894. 918. 951. 954.
Forskål 392.
Forssman 569. 586.
Forster (A. E.) 814. 817. 818. 842.
Forster (G. R.) 376. 557. 657.
Forster (J. R.) 387. 392. 394. 402. 532. 549. 553. 556. 557. 637. 644. 646. 657. 695.
Forster (Th.) 111. 133.
Forster (T. J. A.) 57. 86.
Forti 82. 89.
Fortin 56. 688. 694.
Fortis 565. 586.

Foss 618. 630.
Foster 42. 692.
Foucault 514.
Fouqué 805. 841.
Fourier 80. 82. 88. 136.
Fournet 100. 132. 197. 241. 802. 817. 841. 842.
Fournier 376. 392. 470. 488. 513. 527. 530. 531. 886. 950.
Fraas (E.) 669. 681. 692. 693. 921. 930. 938. 955. 956. 957.
Fraas (K.) 322. 343. 785. 838.
Fraas (O.) 877. 901. 923. 949. 952.
Fracastoro 675.
Fränkel 372. 374.
Franceschi 107. 132.
Franceschini 348. 360.
Francke 611. 630.
v. Frank 144. 161.
Frank (A.) 819. 843.
Frank (G.) 536. 556.
Frankland 253. 290. 334. 341. 344. 345.
Franklin (B.) 136. 139. 143. 149. 150. 162. 444. 453. 454. 487. 494. 495. 500. 519. 529. 685.
Franklin (J.) 402. 420. 535. 552. 556. 557.
Franklin (Lady) 274.
Franzius 314. 318. 483. 490. 612. 812. 842.
Frascoli 69.
Frauenfelder 918. 954.
Frauenholz 833. 845.
Fraunhofer 103. 125. 126. 129. 134. 265.
Frauscher 942. 958.
Frech 655. 658. 867. 869. 899. 948. 952.
v. Freeden 5. 44. 174.
Freeman 156.
Frei 923. 955.
Friesleben 679. 684. 693. 694.
Frejlach 773. 823. 837. 843. 891. 951.
Fresnel 230. 244.
Freudenberg 318. 374. 436. 439.
v. Frey 749. 766.
Freyberg 147. 161.
Freycinet 506.
Freytag 322. 343.
Fricker 297. 316. 512. 530. 537. 538. 554. 556. 558. 575. 587. 629. 693. 727. 764.
Friedel 715. 763.
Friedrich 546. 557.
Friedrich (II. König) 946.
v. Friesenhof 29. 46. 168. 176.
Frisch (Chr.) 44. 46. 47. 488. 530. 585. 656.
Frischauf 64. 87. 284. 293. 830. 842. 844. 932. 957.
Frisi 165. 176. 453. 487. 564. 577. 585.
v. Fritsch 466. 488. 564. 585. 614. 630. 651. 658. 669. 671. 688. 692. 693. 694. 766. 781. 836. 838. 839. 885. 889. 899. 946. 950. 951. 952.
Fritsch (K.) 127. 134. 172. 177. 257. 258. 261. 290. 291. 293. 343. 827. 844.
Fritz (H.) 147. 161. 171. 173. 174. 175. 177. 178. 230. 244. 329. 343. 580. 588. 747. 749. 766.
Fritz (S.) 208. 242. 518. 531.
Frobesius 173.
Frobisher 532. 552.
Fröhlich 252. 263. 264. 265. 266. 290. 291. 292.
Fromond 379. 527. 531.
Froude 442. 486.
Früh 633. 635. 657. 687. 694. 751. 766. 786. 787. 839. 939. 957.
Fruhwirth 900. 901. 931. 952. 956.
Fuchs (K.) 670. 692. 795. 840.
Fuchs (N.) 667. 692.
Fuchsberger 954.
Füchsel 679. 689. 693.
Führnkranz 708. 713.
Fuess 86. 59. 383.
Fugger 130. 134. 135. 754. 755. 756. 757. 766. 767. 773. 825. 836. 837. 844. 845. 881. 923. 942. 950. 955. 958.
Fuhlrott 901. 952.
Fulda 471. 489.
Funck 99. 106. 132.
Fusinieri 25.
Futterer 684. 694. 854. 862. 863. 906. 920. 947. 948. 953. 955.

Gabet 635. 657.
Gagliardi 368. 374.
Gaimar 655. 658.
Galenus 85. 372.
Galilei 48. 49. 55. 85. 86. 171. 469. 470. 488. 559. 823. 936.
Galle 125. 126. 128. 134.
Gallenkamp 755.
Galton 179. 190. 191. 193. 240.
Gama (Vasco de) 200. 494. 509. 528.
Gamauf 176. 490.
Gambihler 801. 841.
Gangouillet 822. 843.
Garbe 833. 843. 845.
Gardner (Starkie) 569. 586. 856. 947.
Garrigou 72. 169.
Garthe 57. 86. 169.
Gasparin 69.
Gassendi 470. 488. 794. 839.
Gassenmayr 446.
Gastaldi 773. 837.
Gatterer 165. 176. 395.
Gauss 81. 88. 744.
Gautier 172. 177. 458.
Gavazzi 815.
Gay Lussac 10. 11. 41. 44. 56. 86. 435. 544. 557.
Gaymard 726. 764.
Gebhardt (A.) 764. 806. 841.
Gebhardt (M.) 557. 717. 763.
Gedroic 913.
Geelmuyden 358.
Geerz 597. 615. 629. 630.
Gehler 56. 231. 420. 543. 557.
Geigel 373.

Geiger (Th.) 317. 694.
Geiger (W.) 726. 764.
Geikie (A.) 336. 344. 595. 601. 608. 628. 629. 630. 655. 658. 660. 664. 665. 668, 669. 691. 692. 693. 774. 856. 947.
Geikie (J.) 895. 921. 942. 943. 951. 958.
Geinitz (C.) 821. 889. 939. 944. 951. 955. 957. 959.
Geinitz (F. E.) 408. 417. 572. 579. 693. 772. 784. 837. 838.
Geissler 50. 56. 85. 421. 541. 556.
Geistbeck 773. 775. 779. 827. 837. 838. 844.
Geitel 83. 89. 132. 140. 142. 143. 157. 160. 161. 162. 224. 233. 244. 279. 293.
Gelcich 68. 87. 359. 360. 361. 376. 387. 393. 394.
Gemmel 234. 245.
Genthe 510. 530.
Gentilli 773. 837.
Geppert 372. 374.
Gerardin 817. 842.
Gerland (E.) 48. 49. 65. 85. 86. 87. 159. 163. 429. 438.
Gerland (G.) 648, 652. 658. 914. 942. 954. 958.
Gerling 82. 88. 128. 134.
Germar 471.
v. Gersdorf 123. 134.
Gersten 24. 25. 46.
Gerster 916. 954.
Gerstner 440. 486. 690.
Gessi 827.
Gessner (J.) 179. 324.
Geuss 841.
van Ghelen 3. 43.
Gibson 221. 243. 816. 842.
Giffard 805.
Gilbert (G. K.) 63. 87. 906. 915. 924. 953. 954. 955.
Gilbert (G. R.) 888. 951.
Gilbert (H.) 494.
Gilbert (L. W.) 320. 325. 342. 343. 399.
Gilbert (William) 569. 586.
Gilder 416.
Gil Eannes 502.
Giles 928. 956.
Gilm 17.
Gintl 64. 87. 421. 798. 840.
Giordano 154. 162.
Giraldus Cambrensis 2.
Girard (A.) 488. 616. 630. 947.
Girard (J.) 422. 438. 571. 586. 613. 630. 631.
Girardot 567. 586.
Glaisher 39. 47. 89. 140. 180.
Gladstone 103. 132.
Glan 97. 131.
Glaser 303. 317. 493. 833. 845.
Glass 5. 44.
Gluchowsky 913.
Gmelin 13.
Gnau 119. 133. 134.
Goad 163. 175.
Godin 184.
Goebeler 547. 557. 595. 628. 931. 956.
Göppert 19. 45. 148. 161.
Goethe 31. 46. 99. 132. 284. 469. 488. 566. 584. 586. 588. 663. 664. 668. 676. 691. 692. 768. 836. 882. 950.
Goetz 281. 293. 580. 587. 588. 630. 694. 711. 714. 903. 912. 929. 952. 953. 956.
Goeze 657.
Goldberg 798. 840.
Goldfus 900. 952.
Goldingham 201.
Goldschmid 57. 86.
Goldsmith 904. 952.
Golliez 830. 844.
v. Gomez 699. 713.
Gorceix 240. 657.
Gordon 136. 821. 843.
v. Gorup-Besanez 798. 840.
Gosnold 496.
Gosset 752. 766.
Gottsche 510.
Gough 23.
Gould 173.
Grablowitz 164. 176.
Grad 209. 242. 307. 317. 720. 730. 745. 763. 764. 765. 773. 837. 921.
Graeger 290.
Graetz 13. 45.
Graf 833. 844. 894. 951.
Graham (J. D.) 458. 487.
Graham (Physiker) 522.
Graham (W. W.) 710. 714.
Grahl 786.
Gralath 143.
Grandidier 617. 630.
Grandjean 617. 619. 630. 631.
Grassinger 161.
Gravé 794. 795. 839. 840.
Gravelius 776. 822. 834. 835. 843. 845.
Grebenau 822. 843.
Greely 6. 44. 314. 318. 402. 551. 762. 767.
Green (J. M.) 402.
Greffrath 956.
Gregor von Nyssa 661.
Gregor Reysch 793.
Gregory 372. 374.
Greim 281. 293. 694. 735. 738. 754. 765. 766.
Gretschel 5.
Grewingk 941. 958.
Griesbach 869. 943. 948.
Griesebach 507. 530. 564. 567. 586. 784. 838.
Griffiths 252. 290.
Grigorjew 511. 530.
Grimaldi 119.
Grinnell 535.
Grissinger 708. 713. 773. 774. 778. 837. 838.
v. Groddeck 684. 694.
v. d. Gröben 174. 177.
Gröning 585.

Grössler 913. 953.
Grohmann 955.
Groller von Mildensee 639. 657.
Gronau 165. 176. 246. 320. 321. 342.
Gronovius 529.
Grosser 639. 657.
Grosskurd 559. 585.
Grossmann 27. 37. 46. 47. 54. 59. 67. 86. 87. 224. 244. 454. 487. 904. 952.
Groth 102.
Grube 317. 766.
Gruber (C.) 46. 608. 630. 717. 763. 784. 785. 795. 813. 829. 838. 839. 840. 842. 844. 879. 926. 946. 949. 955. 959.
Gruber (J.) 116. 133. 565. 586. 904. 932. 952. 956.
Grünwald 724. 763. 765.
Grützmacher 110. 115. 133. 349.
Gruithuisen 173. 177. 936. 943. 957.
Gruner (H.) 719. 763. 941. 958.
Gruner (S.) 690. 724. 745. 764.
Grunert 34. 46. 89. 92. 118. 131. 133. 407. 417.
Grunmach 50. 56. 85. 86. 743. 765. 860.
Gube 40. 47.
v. Gümbel 153. 162. 413. 669. 671. 679. 683. 688. 691. 692. 693. 694. 711. 714. 769. 836. 853. 869. 880. 882. 887. 903. 906. 910. 912. 936. 947. 948. 949. 950. 951. 952. 953. 957.
Günther (P.) 148. 161.
Günther (S.) 43. 44. 85. 86. 131. 133. 134. 175. 176. 178. 244. 245. 289. 290. 291. 292. 342. 343. 344. 360. 416. 417. 418. 459. 487. 488. 489. 529. 531. 556. 581. 584. 585. 587. 588. 629. 668. 692. 693. 712. 766. 767. 829. 840. 841. 842. 946. 949. 950. 951. 952. 954. 955. 957.
v. Guericke 4. 10. 44. 55. 86. 100. 135. 143. 160.
Güssfeldt 98. 132. 314. 317. 318. 371. 374. 630. 720. 728. 733. 763. 764. 905. 952.
Guettard 689. 694.
Güttner 613. 630.
Guglielmini 818. 843.
Guieysse 485. 490. 623. 631.
Guldberg 62. 86. 180. 192. 201. 239. 241.
Gulliver 924. 955.
Gumpert 47.
Gumprecht 499. 529. 912. 953.
Guppy 624. 631. 653. 655. 658. 825. 844.
Gurlt 608. 630. 949.
Guthe 838.
Guthrie 460. 488.
v. Guttenberg 939. 957.
Guttwasser 147. 161.
Guy de Contenson 625. 631.
Guyot 731. 764.
Guyton de Morveau 53. 67. 87.
Gyldén 93. 131.
Gyll 505. 529.

Haack 708. 713.
v. Haardt 712.
Haas (H.) 588. 642. 657. 669. 676. 692. 693. 792. 796. 797. 799. 800. 839. 840. 841. 903. 911. 939. 940. 952. 953. 957.
Haas (K.) 336. 337. 344.
Haase 816. 842. 917. 943. 954.
Haast 726. 764. 808. 841.
Habenicht 358. 361. 390. 394. 536. 556. 856. 861. 947. 948.
Hachette 152.
Hadley 4. 178. 199. 235. 241.
Häbler 318.
Häckel 391. 394. 412. 417.
Hällström 80. 81. 88. 256. 290. 719. 763.
Hänke 256.
Häpke 151. 162.
Hagen (G. H. L.) 82. 88. 441. 442. 448. 449. 486. 580. 812. 820. 821. 823. 842. 843.
Hagenbach-Bischoff 102. 126. 132. 229. 244. 385. 522. 531, 535. 556. 730. 731. 733. 764.
Hagström 35. 36. 47. 202. 241.
Hague 809.
v. Hahn 954.
Hahn (C.) 345. 766. 827. 844.
Hahn (F. G.) 171. 173. 174. 175. 177. 178. 288. 294. 452. 453. 486. 487. 558. 560. 561. 564. 571. 572. 574. 575. 585. 586. 587. 590. 591. 595. 596. 597. 604. 609. 620. 628. 629. 630. 631. 633. 634. 636. 638. 639. 641. 657. 658. 838.
Hahn (O.) 678. 693.
v. Haidinger 827. 844.
Haime 657.
Haken 438. 630.
Hakluyt 528.
Halbfass 772. 773. 774. 836. 837.
Hales 399. 420. 428. 438. 543. 557.
Hall 402. 546. 665. 666. 691. 870. 949.
v. Halle 454. 487. 490.
v. Haller 370. 374.
Haller (K.) 372. 374.
Halley 61. 86. 178. 184. 199. 241. 269. 292. 384. 432. 438. 527. 531. 794. 839.
Hallmann 840.
Haltermann 154. 162.
Hamberg 244. 286. 294. 491.
Hamilton 320. 342. 566. 586.
v. Hamm 368. 374.
Hammer (E.) 63. 87. 102. 132. 270. 292. 702. 708. 709. 713. 714.
Hammer (R.) 534.
Hammerl 122. 134.
Hammond 364. 373.
Hampe 716. 763.
Hanke 903.
Hankel 394. 841.
Hann 6. 17. 38. 45. 46. 47. 51. 59. 76. 78. 83. 85. 86. 88. 105. 111. 132. 133. 169. 174. 178. 179. 180. 181. 184. 186. 187. 195. 196. 197. 198. 206. 208. 209. 210. 211. 218. 224. 225. 239. 240. 241. 242. 243. 244. 246. 249. 253. 254. 270. 275. 276. 277. 278. 280. 281. 282. 285.

286. 290. 291. 292. 293. 294. 295. 296. 297. 299. 301. 302. 305. 311. 315. 317. 318. 327. 336. 343. 344. 345. 357. 361. 371. 373. 374. 430. 438. 658. 721. 763. 764. 767. 794. 838. 839. 846.
Hanno 617. 630.
Hanow 50. 165. 176.
Hansen (A. M.) 363. 373. 562. 584. 585. 588. 910.
Hansen (R.) 612. 630.
Harder 812. 842.
Harding 689. 694.
Harlacher 496. 529. 819. 821. 822. 843.
Harmsen 506.
Harnisch 829. 838. 844.
Harrington 201. 208. 241. 242.
Harriot 429.
Harris 230. 244.
Harrison 168.
Hart 931.
Harting 152. 162.
Hartl 64. 87. 93. 131. 265. 292.
Hartmann (C.) 947.
Hartmann (G.) 536. 537. 547. 556. 557. 595. 628.
Hartmann (K.) 692.
Hartmann (L.) 743. 765.
Hartmann (M.) 682. 693.
Hartung 896. 905. 908. 951. 952. 953.
Harvey 75. 110.
Harvey-Astfield 781.
Harz 777. 838.
Harzer 93. 131.
v. Hasenkamp 73. 88. 384. 393. 394.
Hasse 665. 691.
Hassert 771. 773. 836. 837. 881. 931. 950. 956.
Hassenfratz 94.
Haton de la Goupillière 802.
Hauer 683. 693. 796. 840. 863. 948.
Hauff 132. 294. 393.
Haughton 208. 270. 292. 338. 344. 480. 516. 530.
Haus 5. 44.
Hausburg 353.
Haushofer (K.) 867. 948.
Haushofer (M.) 936. 957.
Hausmann 763. 936. 957.
Hautefeuille 15. 45.
Hauthal 729. 764.
Hautreux 434. 438.
Hawksbee 805. 841.
Hayden 218. 243. 808. 841. 886. 906. 950. 953.
Hayes 253. 290. 304. 317. 402. 433. 438. 503. 529. 534. 546. 549. 550. 551. 556. 727. 728. 760. 764. 767. 862. 948.
Hazen 51. 85. 111. 133. 170. 195. 323.
Hébert 947.
Heck 229. 231. 244.
Hecker 365. 373.
Hector 574. 587.
Hederich 488. 663. 690. 691. 692. 694. 882. 950.
Hedinger 293.
Hedley 648.
Heer 339. 340. 344. 682. 693. 769. 836.
Heermann 452.
Hegemann 544. 557.
Heger 484. 490.
Hegyfoky 188. 240. 261. 291. 307. 317.
Heidenschreider 373.
Heiderich 323. 343. 380. 407. 417. 706. 708. 709. 710. 713. 714.
Heilermann 121. 134.
Heilprin 655. 658.
Heim (A.) 129. 130. 134. 152. 162. 206. 242. 326. 343. 605. 629. 677. 690. 693. 710. 714. 716. 722. 723. 724. 725. 726. 729. 730. 731. 732. 734. 738. 740. 741. 742. 745. 746. 747. 751. 752. 758. 763. 764. 765. 766. 767. 797. 811. 817. 828. 833. 840. 842. 844. 845. 846. 851. 858. 859. 860. 861. 865. 867. 868. 873. 875. 876. 878. 881. 894. 895. 896. 897. 898. 911. 920. 921. 924. 936. 941. 945. 946. 947. 948. 949. 950. 951. 952. 953. 955. 957. 958. 959.
Heim (E.) 817. 842.
Heim (J. L.) 905. 953.
Heim (L.) 365. 373.
Heimbach 867. 948.
Heine 16. 45.
Heinemann 54. 86. 367. 374. 524. 531. 822. 843.
Heinrich (Infant) 502.
Heinrich (Placidus) 150. 161. 230. 244. 535. 556.
Heintz 323. 343.
Heis 102. 132.
Hekatäus 831.
Hell 173.
Helland 534. 556. 607. 629. 741. 765. 774. 837. 879. 921. 942. 949. 958.
Heller (A.) 43. 44. 85. 86. 131. 132. 134. 489. 836.
Heller (K.) 154. 162.
Hellmann 2. 3. 5. 6. 39. 40. 43. 44. 47. 48. 60. 70. 71. 72. 78. 80. 85. 87. 88. 99. 106. 127. 132. 134. 144. 149. 154. 161. 162. 167. 176. 199. 220. 224. 241. 243. 244. 246. 278. 289. 293. 299. 308. 312. 316. 317. 318. 357. 360. 361.
Hellwag 124. 134.
v. Helmersen 772. 836. 886. 941. 950. 958.
Helmert 7. 44. 62. 82. 87. 88.
Helmes 5. 44. 808. 841.
v. Helmholtz 21. 22. 46. 115. 133. 202. 209. 238. 242. 245. 454. 477. 478. 487. 489. 521. 531. 725. 732. 764. 765. 766.
Hemmer 3. 149. 161. 184. 240.
Hempel 14. 45.
Henderson 807. 841.
Henkel 949.
Henneberg 17.
Hennessey 103. 132.
Hennert 61. 92. 131. 819. 843.

Hennig 122. 134. 451. 486.
Henrich 648. 652. 658. 669. 692. 798. 840.
Henry 23. 657.
Hensel 916. 954.
Hensele 239. 245.
Hensen 391. 394. 403.
Henzen 152.
Hepworth 243.
Herberstein 842.
Herbest 506.
Hergesell 74. 88. 583. 588. 773. 778. 779. 837. 838. 947.
Hering 756. 767.
Hermann (C. G.) 71. 87.
Hermann (D. L.) 152. 162.
Hermann (Landgraf) 3.
Hernsheim 446. 486.
Herodot 196. 585. 623. 624. 634. 781. 831. 929.
Heron (Alexandrinus) 10. 670.
Herrenschneider 166. 176.
Herrick 364. 373.
Herrmann 240. 947.
Herschel (J.) 424. 436. 438. 757. 767.
Herschel (W.) 172. 177. 331. 344.
Hertz 37. 47. 157. 162. 180. 239. 348. 360. 514. 530.
Hertzberg 913. 953.
Herzberg 169.
Hesehus 58.
Hesiod 2. 163.
Hess (Cl.) 151. 162. 229. 231. 234. 244. 245.
Hess (H.) 738. 739. 740. 765.
Hess (W.) 383. 393.
v. Hesse-Wartegg 317.
Hessle 822. 843.
Hettner 416. 418. 507. 530. 589. 628. 713. 867. 882. 886. 948. 950.
v. Heuglin 549. 557.
Heusler 688. 694.
Hevelius 127. 128. 134.
Heyer 246. 289.
Heyn 664. 691.
Hjärne 459. 563.
Hibbert 601. 629.
Hiekisch 640. 657.
Higgin 412. 417.
Hilber 888. 906. 907. 951. 953.
Hildebrandsson 31. 33. 46. 47. 149. 161. 193. 221. 236. 241. 243. 251. 255. 256. 261. 289. 290. 297.
Hildegard 501. 770. 836.
Hill 51. 67. 87. 174. 178. 193. 241.
Hind 595. 628.
Hinterhuber 773.
Hipp 53. 54.
Hipparch 271. 559.
Hippokrates 2. 364.
Hirn 42. 47. 156.
Hirt 362. 373.
Hirth 219. 243. 834. 845. 855. 947.
Hirsch (Astronom) 54. 85.
Hirsch (Mediziner) 364. 365. 368. 372. 373. 374.
Hirschberg 122. 132. 134. 372. 374. 508. 530. 808. 841.
Hitchcock 574. 587.
v. Hochenburger 825. 844.
Hochheim 10. 44. 160.
v. Hochstetter 408. 417. 574. 587. 604. 629. 650. 658. 688. 725. 764. 767. 807. 841. 846.
Hoedl 953.
Höfer 573. 587. 688. 694. 721. 763. 788. 839.
Höffinger 207. 242. 299. 316.
Höfler 206. 242. 362. 373.
Högbom 251. 289.
v. Höbnel 198.
Hoekstra 923. 955.
Höltschl 57. 86.
Hölzel 842.
v. Hoepfner 619. 631. 736.
Hörnes (M.) 682. 693.
Hörnes (R.) 413. 417. 796. 840. 897. 920. 935. 951. 955. 957.
Hoernlimann 918.
Höslin 165. 176.
v. Hoff 166. 176. 458. 487. 527. 531. 563. 566. 568. 578. 585. 586. 587. 623. 631. 905. 953.
Hoffert 145. 161.
Hoffmann v. Fallersleben 533. 556.
Hoffmann (Fr.) 638. 648. 657. 658.
Hoffmann (H. H. K.) 257. 258. 259. 260. 261. 290. 291.
Hoffmann (P.) 464. 488. 492. 494. 499. 501. 502. 508. 520. 523. 524. 525. 528. 529. 530. 531. 915. 954.
Hoffmeyer 183. 208. 240. 242. 305. 307. 317. 348. 356. 357. 361.
Hoh 135. 153. 160. 162. 362. 373.
Hojel 843.
v. Holbach 395.
Holetschek 128. 134.
Hollay 817. 842.
Hollmann 110.
Holm 242.
Holmes 851.
Holmström 568. 569. 581. 586. 588.
Holst 737. 765.
Holtz 145. 147. 151. 152. 161. 162.
Holub 950.
Homén 268. 292.
Homer 484.
v. Homeyer 261. 291.
Hondius 557.
Honsell 312. 821. 832. 843. 844. 916.
Hood 510.
Hooke 56. 398. 400. 416.
Hooker 555.
Hope 757. 767.
Hopfgartner 400. 416.
Hopkins 578. 741. 746. 765. 850. 905. 946. 952.
Hoppe (E.) 46. 139. 159. 160. 161. 162. 163. 836.

Hoppe (O.) 148. 161.
Hornberger 5. 44.
Horn (F.) 225. 228. 229. 244. 358. 361.
v. Horn 489.
Horner 24. 46. 151. 162. 401. 402. 435. 446. 458. 532. 535. 536. 542. 550. 677.
Hornstein 171. 174. 176. 178.
Horrebow 61.
Horsburgh 200.
Horsley 165.
Horvath 906. 953.
Hoskin 402.
Hottinger 724.
Houdaille 264. 291.
Houzeau 5. 44.
Hovel 501.
Hovey 221. 243. 903. 952.
Howard 31. 32. 33. 46.
Howorth 338. 344.
Hrabanus Maurus 2.
Hube 471. 489.
Huber 283. 293.
Huc 635. 657.
Hübler 296. 317. 878. 949.
Hümmerich 494. 528.
Hugi 206. 242. 469. 488. 543. 557. 716. 724. 730. 733. 736. 738. 745. 763. 764. 765.
Hugues 947.
Huitfeld 838.
Hull 358. 361. 480. 489. 774. 837. 923. 956.
Hult 258. 290.
v. Humboldt 4. 40. 41. 45. 65. 94. 95. 96. 97. 99. 105. 131. 132. 151. 152. 162. 164. 176. 184. 222. 230. 240. 244. 247. 250. 258. 272. 273. 277. 284. 287. 289. 292. 293. 294. 315. 318. 376. 380. 384. 390. 391. 393. 394. 395. 401. 416. 437. 438. 488. 491. 496. 507. 515. 528. 529. 530. 585. 632. 650. 656. 658. 667. 675. 685. 691. 692. 694. 699. 700. 703. 704. 708. 711. 712. 713. 714. 719. 756. 763. 767. 775. 817. 837. 841. 842. 856. 857. 901. 917. 925. 926. 947. 952. 954. 955.
Humphrey 624. 820. 821. 843.
Hunäus 784. 818. 838. 843.
Hunt 183. 240. 627. 631.
Hunter 174. 177.
Hupfer 293.
Hussak 669. 692.
Hutton 21. 45. 585. 664. 665. 666. 668. 691. 861. 948.
Huxley 413.
Huygens 49. 56. 86. 93. 128. 131. 440. 486.
Huygens van Linschooten 648.
Hypatia 429.

Jackson 728.
Jacobs 900. 952.
Jacobsen 403. 428. 436. 437. 439.
Jacques 41.
Jäger 168. 176. 346.
Jagor 312. 318.
Jahja ben Said 114.
Jahn 4. 44.
Jakob (II. König) 88. 959.
Jallabert 458. 487.
Jameson 804. 841.
Jamieson 569. 586. 667. 691.
Jamin 24. 46.
v. Jankó 502. 529. 551. 557. 631.
Janssen 77. 83. 88. 103. 132.
Jantzen 208. 242.
Jarz 514. 530. 755. 766. 794. 839. 914. 954.
Ibañez 356.
Ibar 629.
Ibn Batuta 647. 658. 686.
Ideler 1. 43. 175. 233. 245. 321. 343. 656.
Idman 173.
v. Jedina 28. 46. 211. 243.
Jefferson 321.
Jeffreys 397. 416. 529.
Jegerlehner 567. 586.
Jelinek 58. 68. 78. 86. 87. 88.
Jennings 39.
Jensen 612. 630. 760. 767.
Jentzsch 331. 344. 580. 587. 784. 802. 838. 841. 921. 927. 955. 956.
Jesse 9. 35. 44. 47. 107. 112. 115. 133.
Jessen 563. 578. 585.
Jevons 171. 177.
v. Jhering 637. 640. 657. 855. 947.
Ihne 256. 257. 259. 260. 277. 290. 291.
Jilek 375. 376. 392.
Jirasek 256. 690.
v. Ilosvay 17. 45. 75. 88.
Ilwof 712.
Imbeaux 815. 842.
Imhof 149. 161.
Ineichen 458.
Ingenhouss 16.
Intze 833. 845.
Jörgensen 369. 374.
Johann v. Glogau 163. 175.
Johannes (Damascenus) 468.
Johansen (Begleiter Nansens) 304. 546. 549. 550.
Johansen (Seemann) 147. 304.
Johnston (F. W.) 581. 588.
Johnston (Keith) 249.
Johnston-Lavis 584. 588.
v. Jolly 14. 45. 389. 394. 402. 416. 569. 586. 773. 825. 837. 844.
Jonesco 149. 161.
Jordan (C.) 708. 713.
Jordan (H.) 855. 947.
Jordan (K. J.) 135. 142. 155. 156. 160. 162.
Jordan (W.) 57. 58. 62. 63. 64. 76. 86. 87. 93. 131. 927. 956.
Josephus (Flavius) 150.
Jouan 657.
Joule 210. 419. 437. 528.
Jourdanet 371. 374.

Iriczek 602. 629.
Irminger 465. 488. 497. 517. 529. 530.
Irvine 436. 653. 658.
Irving 432.
Juba (König) 831.
Isidorus Hispalensis 2. 72. 533.
Issel 560. 567. 585. 918. 954.
Judd 658.
Jukes (B.) 905. 953 (s. Beete Jukes).
Julien 335. 344.
Junghuhn 198. 283.
Jungk 212. 230. 514. 516. 530.
Junker 782. 816. 838.
Jurin 348. 360.
Jurine 119.
Justander 261. 291.
Justi 579. 587.
Justinian 487.
Ives 907. 953.

Kaas 838.
Kämpfer (E.) 508. 527. 530.
Kämtz 4. 26. 44. 46. 63. 87. 110. 125. 126. 134. 174. 177. 272. 327. 343. 347. 360. 720. 763. 795. 840.
Kästner 48. 55. 61. 73. 85. 86. 87. 88. 89. 131. 416. 488. 903. 952.
Kahle 568. 586. 915. 954.
Kaibel 72. 88.
Kaiser 761. 767.
v. Kalbermatten 641. 657:
Kalischer 156.
Kalkowsky 669. 692. 942. 958.
v. Kalmar 127. 134.
Kaltbrunner 692.
Kammermann 267. 292.
Kane 304. 402. 535. 540. 556. 557. 763.
Kant 165. 176. 179. 199. 200. 239. 241. 376. 379. 393. 395. 432. 478. 514. 515. 520. 530. 531. 553. 557. 620. 631. 633. 634. 656. 699. 713. 915. 925. 954. 955.
Kapp 638. 657.
Kappeller 54. 86.
Karell 45.
Karl (der Grosse) 599.
Karl Theodor 3. 785.
Karlowa 454. 487.
Karpinsky 695. 712.
Karsten (G.) 151. 162. 260. 261. 291. 315. 318. 357. 380. 381. 393. 403. 407. 408. 411. 417. 419. 430. 434. 438. 894. 951.
Karsten (W.) 269. 289. 292.
Kassner 36. 47. 147. 161. 193. 241. 476. 489.
Kastner (K.) 825. 844. 942. 958.
Kastner (K. W. G.) 4. 44. 154. 162.
Kasthofer 321. 343. 750. 766.
Katzer 825. 826. 844. 882. 950.
Katzerowsky 831. 844.
v. Kaulbars 913. 953.
Kayser (E.) 658. 669. 671. 676. 679. 692. 693. 846. 872. 946. 949.
Kayser (H.) 16. 34. 145. 161. 376. 393. 394. 403. 417. 433. 438.
Kazwîni 131. 469. 488. 493. 528. 691.
Keber 414.
Keferstein 690. 694.
Keilhack 618. 631. 634. 657. 802. 841. 939. 957.
Keilhau 583. 588.
Keill 107. 133.
Keiser 952.
Keith-Johnston 914. 954.
Keller (C.) 387. 510. 511. 530. 924. 955.
Keller (F.) 880. 950.
Keller (H.) 614. 630.
Keller (Ph.) 485. 817. 818. 842.
Kentmann 671.
Kepler 3. 9. 34. 39. 43. 44. 46. 47. 86. 91. 163. 175. 202. 320. 337. 343. 429. 469. 470. 488. 513. 530. 632. 656.
Kerber 8. 44. 93. 131.
Kerhallet 200. 507.
Kerner v. Marilaun (A.) 206. 280. 281. 293.
Kerner v. Marilaun (F.) 211. 242. 293. 341. 345. 720. 763. 910. 953.
Kerr 882. 950.
Kerschensteiner 738. 765.
Khanikow 48. 85.
Kick 860. 948.
Kjellman 297. 760. 761. 767. 783.
Kiepert 782. 838.
Kiersnowsky 267. 292.
Kjerulf 562. 583. 588. 607. 608. 624. 629. 630. 631. 866. 948.
Kies 165. 176. 471. 489.
Kiesel 155. 162.
Kiessling 106. 107. 110. 111. 112. 113. 114. 132. 133.
Kihlmann 297.
Kinahan 892. 951.
Kinkel 949.
Kinkelin 905. 952.
Kirch (G.) 3. 43.
Kirch (Margaretha) 43.
Kircher (A.) 171. 395. 416. 494. 527. 529. 531. 756. 767. 771. 836. 903. 930. 952. 956.
Kircher (E.) 140. 160.
Kirchhoff (A.) 281. 293. 320. 343. 359. 361. 414. 418. 638. 657. 695. 712. 763.
Kirchhoff (G.) 26. 132. 209. 523. 524. 531.
Kirsch 360.
Kirwan 663. 720.
Kisch 372. 374.
Kitasato 365. 373.
Kitl 875.
Kittara 756. 767.
Kittler 885. 886. 887. 950. 951.
Klaproth 807. 841.
Klauprecht 246. 289.
Klebs 687. 694.
Kleiber 155. 162. 181. 239. 240. 835. 845.
Klein (H. J.) 5. 6. 32. 44. 146. 147. 156. 157. 161. 162. 168. 169. 173. 175. 176.

177. 178. 347. 360. 406. 427. 544. 585. 588. 838. 925. 952. 955. 956.
Klein (K. E.) 585.
Klein (R.) 207. 242. 716. 763.
Kleist 143.
Klemm 942. 958.
Klengel 719. 720. 763.
v. Klenze 143. 161.
Kleomedes 91. 131.
Klinge 786. 787. 839. 915. 954.
Klinkerfues 66. 87. 112.
Klitzkowsky 187. 240.
Klocke 730. 739. 764. 765.
v. Klöden 414. 565. 586. 590. 628. 772. 814. 836. 842.
Klönne 383. 393. 479. 489.
Klossowsky 72. 88. 217.
Klügel 132. 134.
Kluge 946. 959.
Klun 914. 954.
Klunzinger 510. 644. 657.
Klutschak 134. 587. 733. 764.
Knapp 575.
Knauer 167.
Kner 669. 692.
Knett 811. 842.
Knipping 74. 88. 193. 208. 215. 217. 219. 241. 242. 360. 361. 394.
Knoblauch 264. 291.
Knop 34. 46. 830. 844.
Knorr (Meteorolog) 166. 176.
Knorr (Nautiker) 358. 361.
Knox 464.
v. Kobell 670. 692.
Kobelt 210. 242. 510. 530. 637. 657. 759. 767. 855. 947.
Kober 21. 45.
Koch (G. A.) 798. 832. 835. 840. 843. 844. 900. 952.
Koch (K. R.) 739. 747. 765. 766.
Koch (R.) 365. 490.
Köberlin 945. 959.
Köbke 84. 89.
Köhl 146. 161.
Kölliker 658.
v. Koenen 866. 948.
König (C.) 331. 344.
König (J.) 799. 840.
König (W.) 8. 21. 44. 45. 278. 282. 290. 293.
Köpert 560. 585. 586. 587.
Köppen (F.) 175.
Köppen (W.) 6. 27. 28. 32. 33. 46. 51. 63. 74. 85. 87. 88. 89. 170. 172. 175. 177. 183. 188. 193. 203. 212. 214. 217. 218. 220. 229. 236. 240. 241. 243. 244. 245. 252. 253. 290. 314. 318. 353. 369. 374. 423. 438. 444. 454. 455. 486. 487. 915. 954.
Körber 41. 47. 128. 134. 258. 290. 301. 306. 310. 317.
Körner 65. 87.
Köttstorfer 243. 393. 421.
v. Kövesligethy 708. 713.
Kohl 494. 528. 529. 531. 556. 592. 610. 614. 628. 630.
Kohlenberg 634. 657.
Kohlrausch 58. 82. 86. 89. 137. 160. 239.
Kohn 293. 953.
Koken 676. 692.
Kolb 946. 959.
Kolbenheyer 726. 764.
Koldewey 499. 529. 550. 557.
Kollbach 287. 294.
Kollbrunner 692. 908. 953.
Kollert 163.
Kollmann 688. 694.
Kolombatovič 933. 957.
Komischke 913. 953.
Konitzky 399.
Konschin 913.
Koopmann 416. 488.
Kopp 2. 5. 43.
Koppe 35. 47. 57. 76. 86.
Kořistka 705. 713.
Kornerup 760.
Korselt 180. 187. 239. 240.
Kortholt 346. 360.
Kosmas Indikopleustes 303.
Kostytchew 884. 950.
v. Kotzebue 402. 420. 657. 764.
v. Kovács 954.
Kovatsch 614. 630.
Kraemer 644. 647. 656. 657. 658.
Krafft 542. 556.
Kraft 40.
Krahmann 685.
Krahmer 955.
Kralic 694.
Kramer 131.
Kramp 61. 83. 89. 92. 131.
Krankenhagen 41. 47. 240.
Krašan 258. 290. 340. 344.
Krasnow 855. 890. 926.
Krates (Mallotes) 468.
Kratzenstein 21. 45. 165. 176.
Kraus 368. 386. 755. 766. 771. 836. 891. 900. 901. 902. 903. 904. 931. 932. 933. 934. 951. 952. 956. 957.
Krause (A.) 304. 317.
Krause (C. F.) 639.
Krause (E.) 922. 955.
Krause (E. H. L.) 770. 782. 836. 838. 926. 955.
Krause (O. E.) 350. 360.
Krause (W.) 682.
Krause (Gebrüder) 783.
Krebs (A.) 224. 244.
Krebs (G.) 15. 45.
Krebs (N.) 839.
Krebs (W.) 145. 161. 253. 290. 791. 833. 834. 839. 845.
Krecke 249.
Krejcí 902. 952.
Kreidel 462. 479. 488. 489.
Kreil 52. 85. 107. 133. 166. 174. 176. 186.

v. Kremer 572. 586.
Kremser 29. 46. 84. 110. 133. 343.
Krenner 767.
Kretschmer 376. 389. 392. 394. 526. 531. 560. 585. 602. 615. 629. 630. 631. 661. 691. 793. 839. 856. 930. 947. 956.
Kreusler 14.
Kreuter 824. 843.
Krieg 767.
Kries 47. 131. 161. 556. 557. 952.
Krimmel 38. 418.
Kříž 930. 934. 956. 957.
v. Kröncke 843.
Krohne 104. 109. 132.
Krokisius 403.
Kronecker 726. 764.
Kropp 358. 361. 510. 530.
Krümmel 38. 47. 88. 312. 318. 376. 377. 378. 380. 382. 387. 389. 390. 393. 394. 395. 401. 403. 404. 406. 407. 408. 410. 414. 415. 416. 417. 418. 420. 421. 423. 425. 426. 429. 430. 432. 435. 437. 438. 439. 442. 443. 444. 447. 452. 453. 461. 462. 464. 471. 475. 476. 479. 480. 483. 488. 489. 490. 491. 492. 499. 500. 505. 507. 509. 510. 512. 516. 519. 523. 524. 525. 528. 529. 530. 531. 556. 557. 564. 585. 595. 611. 623. 625. 626. 627. 628. 630. 631. 636. 657. 709. 714. 866. 890. 916. 931. 948. 951. 956.
Krünitz 161.
Krug von Nidda 809. 842.
Krumbacher 487.
v. Krusenstern 402. 420. 446. 500. 506. 509. 529. 530.
Kühn 793. 839.
Kükenthal 503. 529. 886. 950.
Künzer 227. 244.
Küster 773. 837. 844. 907. 953.
Kugler 841.
Kuhn 11. 44. 151. 162. 736. 765.
Kusse 127. 128. 134.
Kulschin 918. 954.
Kunaeus 143.
Kundt 13. 45. 145. 161.
Kuntze (J.) 52. 85.
Kuntze (O.) 390. 394. 432. 438. 809. 841. 882. 886. 887. 950. 951.
Kunze 65. 87.
Kurowski 707. 713. 721. 763.
Kurz 126. 134. 160.
Kutta 13. 45.
Kutter 822. 843.

Labillardière 392.
La Caille 107.
Lacépède 395.
Lacour 43. 323. 343.
Lacroix 692.
Ladame 745. 765.
v. Lär 45.
Lagrange 72. 440. 518.
La Hentan 458.
Lakowitz 149. 161.
Lalande 92. 131.
Lamarck 553. 558. 657. 691. 709. 714.
Lambert 61. 66. 79. 80. 87. 88. 98. 105. 106. 107. 131. 132. 165. 176. 181. 247. 262. 269. 289. 291. 292. 388. 394. 719. 763. 941. 958.
Lamey 164. 175.
v. Lamont 23. 46. 53. 69. 79. 85. 87. 88. 137. 156. 162. 171. 174. 176. 184. 240. 354. 360.
Lamp 582. 588.
Lampadius 21. 45. 66. 170. 177. 232. 245.
Lampert 391. 394. 777. 838.
Lamprecht 168. 169. 176.
Lancaster 5. 43. 44. 169. 241. 311. 318.
Landolt 288. 294. 836. 845.
Landrist 17. 45.
Lang (A.) 553. 558. 666. 691. 714.
Lang (C.) 3. 18. 43. 45. 53. 70. 87. 147. 161. 224. 225. 228. 229. 231. 244. 245. 268. 292. 326. 343. 363. 373. 421. 433. 437. 716. 749. 763. 766. 794. 839. 877. 949.
Lang (O.) 669. 688. 692. 770. 806. 809. 810. 811. 836. 841. 842. 899. 938. 943. 957. 958.
Lange 285. 293.
Langer 68.
Langenbeck 647. 648. 652. 653. 655. 658. 773. 837. 869. 948.
Langhold 775.
Langley 74. 88. 112. 133. 262. 264. 265. 266. 291. 292. 333.
v. Langsdorff 524. 531.
Langwith 122. 124. 134.
Lanier 304. 317.
La Peyrouse 402. 506.
Laplace 6. 7. 44. 62. 81. 86. 92. 131. 166. 176. 187. 334. 432. 440. 463 467. 470. 472. 475. 478. 488. 489. 708. 713.
La Postolle 230. 244.
Lappenberg 597. 629.
Lapworth 868. 948.
Larochefoucauld 321.
Lartet 772. 836. 923.
v. Lasaulx 590. 628. 639. 657. 661. 691. 872. 873. 949.
Láska 32. 42. 46. 47.
Lasswitz 241.
Latham 116. 133.
Laubach 693.
Laube 796. 840.
Lauda 954.
Laue 45. 392. 394. 657. 694.
Laughton 44. 527. 531.
Laurent 557. 629.
Lauridsen 597. 628.
Lauterborn 318.
Laveran 368. 374.
Lavoisier 14. 45. 354. 768.
Lawson 775.
Lebrot 843.
Le Dat 186.
Lecchi 818. 843.

Leche 25.
Lecher 280. 293.
Le Conte 458. 487. 651. 658. 859. 947.
Lecoq 233. 245. 886. 950.
Le Corguillé 462. 488.
v. Ledebour 886. 950.
Lee 402.
Legendre 81.
Le Gentil 124. 392. 394.
Lehmann (E. J. F.) 692.
Lehmann (M.) 161. 281. 293.
Lehmann (O.) 876. 949.
Lehmann (P.) 572. 586. 609. 618. 630. 631. 835. 845.
Lehmann (R.) 562. 585. 631. 698. 712.
Le Hon 335. 344.
Leibbrand 954.
Leibniz 57. 86. 432. 457. 661. 662. 691. 903. 952.
Leicher 705. 713.
Leichhardt 928. 956.
Leipoldt 241. 317. 471. 489. 529. 560. 585. 586. 607. 614. 616. 629. 630. 631. 709. 713. 808. 841. 955.
Leist 169. 177.
Lely 615.
Lelyveld 453. 487.
Lenard 141. 160.
Lemasson 511. 530.
Lemberg 580. 587.
Le Monnier 135. 836. 838.
Lemström 140. 155. 160. 162.
v. Lendenfeld 289. 294. 323. 343. 655. 658. 726. 764.
Lengerke 839.
Lenk 781. 838.
Lenthéric 613. 630.
Lenz 451. 462. 486. 488. 491. 528.
Lenz (H. F. E.) 491. 528.
Lenz (O.) 313. 318. 327. 420. 437. 438. 484. 490. 568. 586. 641. 657. 726. 764. 788. 839. 924. 955.
v. Leonhard 692.
Leonhard 916. 954.
v. Lepel 144. 145. 146. 161.
Le Petit 623.
Lephay 265.
Leppla 795. 840. 942. 958.
Lepsius 683. 690. 693. 694. 854. 947.
Le Roy 21. 24. 45.
Lersch 768. 796. 797. 798. 800. 801. 803. 836. 840. 841.
Leslie 66. 68. 87. 253. 290. 720. 876.
Lespiault 321. 343.
Lesquereux 786. 839.
Less 183. 221. 240. 243.
Lesser 663. 691.
Letoschek 698. 712.
Letronne 487.
Leupold 66. 72.
Leutmann 68. 432.
Levänen 173. 177.
Leverrier 348.
Lévy 17. 669. 692.
Ley 31. 32. 33. 38. 44. 46. 193. 213. 214. 243. 347.
Leyst 123. 134. 169. 177. 194. 223. 241. 244.
Lhwyd 675. 692.
Liagre 82. 88.
Liais 8.
Libbey 504. 529.
Libri 49. 85. 486. 530. 692.
Lichtenberg 21. 45. 96. 131. 138. 139. 149. 150. 160. 161. 165. 176. 232. 245. 484. 490. 543. 557. 763. 899. 952.
Liebe 651. 658. 854. 947.
v. Liebig (G.) 370. 371. 372. 374. 784. 838.
v. Liebig (J.) 242.
Liebisch 837.
Lilienberg 569. 586.
Limpricht 594. 628.
Lindemann (E.) 599. 600. 628.
Lindemann (F.) 791. 839.
Lindenau (K.) 169. 177.
Lindenkohl 500. 529.
Lindenmayer 932. 956.
Lindner 151. 162.
Lindsay 928. 956.
Lingg 93. 131. 568. 586.
Linhardt 582. 588. 918. 954.
Link 661. 676. 691. 692.
Linné 256. 257. 290. 563. 585.
Linss 156. 162. 192. 241.
Linsser 259. 291.
Lionardo da Vinci 91. 99. 131. 395. 416. 439. 456. 486. 513. 526. 675. 692. 793. 823. 843.
Lippich 97. 131.
Lipsius 599. 629.
Lipsski 748.
Lister 184. 432. 435. 655. 658. 689. 694.
Listing 253.
v. Littrow 487. 691.
Livingstone 782. 816.
Liznar 43. 173. 177. 790. 839.
Lloyd 190.
Lochtin 828. 844. 913. 953.
Lockyer 112. 177.
v. Lóczy 459. 886. 903. 950.
Lodges 151.
Löfgren 946. 959.
Lösche 79. 88. 483. 490.
Löschmann 916. 954.
Löw 574. 587. 891. 926. 951.
Löwe 601. 629. 713. 882. 950.
Löwenberg 50. 841.
Löwenherz 85.
Löwinson-Lessing 582. 588.
Löwl 293. 581. 585. 588. 702. 713. 773. 837. 860. 889. 905. 906. 911. 919. 948. 951. 953. 955.
Loffredo 565. 586.
Logau 678. 693.
Lohmann 756. 757. 767.
Lomas 27. 46. 904. 952.
Lombardini 624. 631. 770. 836.

Lommel 79. 88. 101. 126. 129. 130. 131. 132. 134. 135. 208. 242. 488. 841.
Lomonosson 532. 556.
Loomis 168. 178. 193. 215. 239. 241. 243. 311.
Lorenz v. Liburnau 246. 285. 289. 294. 353. 360. 465. 488. 621. 631. 773. 806. 837. 841. 916. 954.
Lorenzen 597. 629. 836.
Lorscheid 109. 133.
Lortet 371. 374.
Lossen 851. 947.
Lothes 545. 557.
Lotti 930. 956.
Lottin 135. 160.
Lovén 887.
Lowe 767. 838.
Lowitz (G. M.) 66.
Lowitz (J. F.) 87. 127. 134.
Lubbock 465. 471. 488. 489. 682. 693.
Lucanus 152. 162. 831.
Lucilius 661.
Lucretius 691.
Ludmann 798. 840.
Ludwig 837.
Ludwig Salvator (Erzherzog) 901. 952.
Lüdecke 166. 169. 176. 919. 955.
Lueger 713. 788. 789. 802. 834. 839. 841. 845. 954.
Luksch 393. 403. 421. 424. 427. 433. 438. 476. 505. 511. 529. 530.
Lullies 891. 951.
Lummer 134.
v. Lupin 799. 840.
Luther 285.
Luvini 158. 163.
Luyts 506. 530.
Luz 59. 86.
Lyell 209. 341. 345. 563. 571. 572. 574. 578. 585. 586. 587. 624. 627. 628. 631. 650. 658. 668. 692. 797. 840. 855. 857. 881. 885. 887. 919. 936. 947. 950.
Lynch 838.
Lyon 921.

v. Maack 571. 618. 630.
Maas 834. 845.
Macano 18. 817. 842.
Macaulay 72. 88. 946. 959.
Mac Clintock 402. 410. 552. 557.
Mac Clure 547. 552.
Mac Connel 103. 115. 132. 133.
Macdougall 544. 557.
Mac Dowall 172. 177.
Macfadzeane 583. 588.
Mach 151. 162.
Mack 102. 132.
Mackenzie 497. 807. 841.
Maclaren 307. 317.
Maclaurin 470. 471.
Mac Lean 160. 403.
Mac Millan 634. 657.
Macrobius 468. 634.
Made 260. 291.
Madeweis 346. 360.
Madsen 270. 276. 292.
Mädler 168. 176. 244.
Männel 784. 838.
Maenss 913. 953.
Magelhaens 402.
Magie 140. 160.
Magnus 805. 841.
Magrini 140. 156. 160.
Mahlmann 508.
Maignan 66. 115. 133.
Main 174. 622.
Mairan 27. 40. 46. 106. 132. 541. 542. 543. 556. 557.
Makarow 402. 408. 417. 430. 438.
Makay 222.
Maklay (Miklucho) 836.
Makowsky 682. 693. 930. 956.
Malagutti 436. 439.
Malfatti 650. 658.
Malfroy 808. 841.
Malling 363. 373.
Malte Brun 380. 393. 699.
v. Maltzan 433. 438.
Mancini 146.
Maney 112.
Manfredi 565. 577. 586. 818. 843.
Mann 44.
Mannaberg 368. 374.
Mannesmann (Gebrüder) 859.
Mantel 244. 358. 361.
Manucci 33. 46.
Marangoni 233. 245. 454. 487.
Marcet 17. 45. 419. 428. 438.
Marchand 393. 500.
Marchesetti 639. 657. 935. 953. 957.
Marcialis 572. 586.
Marcillac 140.
Marco 567. 586.
Marco Polo 493. 528. 686.
Marcuse 5. 44.
Marek (Marcus Marci) 119. 120. 134.
Marenzeller 529.
Margules 187. 240.
Marignac 15.
Marinelli (G.) 409. 417. 650. 658. 725. 748. 764. 773. 784. 830. 837. 838. 844.
Marinelli (O.) 769. 773. 778. 836. 837. 838.
Marinic 903.
Marischler 804. 841.
Mariotte 4. 9. 10. 11. 14. 44. 60. 86. 126. 134. 178. 184. 793. 794. 839.
Markham 366.
Marno 634. 657. 826. 827. 844.
Marr 584. 588.
Marshall 413. 417. 924. 955.
Marsigli (Graf) 376. 392. 393. 404. 424. 432. 505. 527. 529. 531. 642. 657.
Marsilli 578.
Martel 817. 830. 842. 844. 900. 901. 902. 903. 931. 932. 933. 952. 956. 957.
v. Martens 510. 542. 549. 730.

Martin (J. E. A.) 290. 317. 438. 529. 556. 557.
Martin (K.) 573. 587. 647. 658.
Martin (L.) 368. 374.
Martin (W. R.) 5. 44.
Martin (?) 764. 767.
Martins 89. 116. 133. 209. 242. 258. 266. 280. 290. 292. 321. 343. 420. 585. 737. 742. 765. 787. 839. 841. 878. 892. 927. 929. 949. 956.
v. Martius 484. 490.
van Marum 15. 45.
Marvin 67.
Marzavi 691.
Mascagno 17.
Mascart 9. 44. 123. 124. 125. 134. 137. 138. 139. 156.
Maskelyne 61.
Mather 864. 948.
Mathieu 41.
Mathieu de la Drôme 166. 167. 176. 360.
Matthews 745. 765.
Matthieu 941. 958.
Mauch 826. 844.
Maurer (J.) 76. 88. 93. 108. 131. 133. 180. 239. 262. 263. 265. 266. 267. 291. 292. 733. 764.
v. Maurer (K.) 321.
Maury 190. 345. 358. 359. 360. 376. 393. 402. 404. 417. 494. 503. 507. 516. 518. 527. 530. 531.
Maw 594. 595. 628. 629.
Maximilian (I. Kaiser) 343.
Maxwell 136. 160.
Maydell 216. 243.
Mayer (Ad.) 267.
Mayer (E.) 393. 428. 499.
Mayer (Tob. I.) 719. 763.
Mayer (Tob. II.) 233. 245.
Mazéas 100. 137. 160.
Mazelle 211. 242. 249. 289.
Medlicott 906. 953.
Meech 269. 271. 292.
v. Megenberg (Konr.) 25. 46.
Megister 807.
Mehlis 942. 958.
Mehner 940. 957.
Mehren 488.
Meibauer 44.
Meidinger 97. 131.
Meier (H.) 544. 557.
Mejer (J.) 597. 629.
Meier (W.) 373.
Meinardus 144. 148. 161. 309. 317.
Meissner (Chemiker) 15. 45.
Meissner (Physiker) 757. 766. 767.
Melanderhjelm 7. 44.
Melde 29. 46.
Meldola 43.
Meldrum 174. 177. 178. 220. 243.
Mellard Reade 613. 630. 825. 844. 856. 858. 861. 864. 876. 947. 948. 949.
Melloni 25. 266. 292. 384.
Melsen 151. 162.
Mendelejew 180. 239.
Mendenhall 141. 160.
Mendoza 359.
Meniander 173.
van der Mensbrugghe 444. 454. 486. 487.
Menzel 122.
Menzzer 393. 530.
Mercator 553. 557.
Merena 630. 956.
Merian 41. 47. 229. 244. 459. 460. 464. 476. 487. 543. 557. 896.
Merkel 362. 373.
Merle 2. 43.
Merrifield 390. 394.
Merriman 170.
Merula 376. 392. 526. 531. 632. 656.
Messerschmitt 567. 586.
Meton 165.
Mettenius 658. 764. 957.
Metternich 690.
Metzger 798. 840.
Meunier 938. 957.
Meurer 3. 43.
Meyen 295. 316.
Meyer (A. B.) 656.
Meyer-Ahrens 370. 374.
Meyer (E.) 428.
Meyer (G.) 169. 177.
Meyer (H.) 23. 28. 46. 80. 88. 204. 205. 227. 242. 244. 247. 249. 253. 290. 717. 753. 763. 848. 868. 946.
v. Meyer (H.) 677.
Meyer (H. A.) 403. 411. 417. 420. 428. 434. 438.
Meyer (O. E.) 58. 522. 531.
Meyer (W.) 109. 808. 841.
Meyn 614. 689. 694.
Miaulis 461. 488.
Michael 416. 418. 942. 958.
Michaelis (Archäolog) 150.
Michaelis (Physiker) 421. 437.
Michaelis (Zoolog) 392. 394.
Micheli du Chrest 50.
Michelier 342. 345.
Michelotti 818. 843.
Michow 698. 812. 842.
Mickwitz 891. 951.
v. Middendorff 261. 291. 511. 530. 573. 587. 673. 692. 758. 783. 930. 956.
Migne 488.
Mill 53. 697. 712. 855. 947.
v. Miller-Hauenfels 179. 182. 239.
Miller (H.) 583. 588.
Miller (N. A.) 125. 134. 421. 422. 437. 480.
Millot 5. 44.
Milne 595. 628. 889. 951.
Milne Edwards 642. 657. 947.
v. Miltitz 359. 361.
Minasi 116. 133.
Minucius Felix 273. 292.
Mirande 931.
Mitchell 496. 540.
Mitscherlich 168. 176.

Mitzopulos 799. 840.
Moberg 257. 290. 569. 586.
Moebius 261. 291. 392. 394. 403. 413. 678. 693.
Moeckel 921. 955.
Mödebeck 84. 89.
Möhl 578. 587.
v. Möllendorf 311. 318.
Möller 28. 31. 46. 204. 222. 234. 236. 241. 242. 243. 245. 822. 843. 916. 924. 954. 955.
Mohn 5. 9. 36. 44. 45. 46. 85. 86. 88. 115. 133. 144. 161. 180. 192. 201. 223. 239. 241. 243. 244. 274. 292. 402. 417. 422. 427. 516. 517. 525. 530. 531. 562. 583. 585. 588. 640. 657. 760. 767.
Mohorovičić 46. 212. 218. 243.
Mohr 26. 46. 71. 87. 234. 245. 544. 557. 668. 692. 794. 839. 903. 952.
Moigno 174. 177.
v. Mojsisovics 645. 657. 712. 714. 869. 920. 921. 935. 948. 957.
Moldenhauer 311. 318.
Molinelli 398. 416.
v. Moltke 320. 342. 385. 393. 505. 529.
Molyneux 65.
Monchabita 812.
Monconys 641. 657.
Monesier 232. 245.
Monge 116. 133.
Mongez 232. 245.
Monnet 663.
Monro 74.
Montgolfier 802. 841.
Montigny 94. 95. 131. 204.
Montlossier 667. 691.
Mooney 416.
Moore 366. 483.
Moray 49.
Moreau de Jonnes 285. 293.
Moreland 56. 59. 86.
Moritz 541. 556.
Morley 14.
Morlot 940. 958.
Moro (Lazaro) 578. 587. 663. 691. 856. 947.
Morozzo 773. 837.
Morren 256. 290.
Morse 400.
Morton 550. 551.
Moseley 480. 489. 542. 745. 765.
Moser 951.
Mottez 442. 447. 486.
Mousson 209. 725. 757. 764. 767. 805. 841.
Much 682. 693.
Mühlberg 910. 940. 953. 958.
Mühry 139. 155. 160. 162. 179. 199. 208. 216. 239. 241. 242. 243. 246. 289. 372. 374. 419. 437. 514. 515. 516. 518. 525. 530. 531.
Müllenhoff 488. 532. 556.
Müller (A.) 608. 629. 954.
Müller (C.) 490.
Müller (E.) 13. 45.
Müller (F.) 903.
Müller (G.) 104. 132. 799. 840.
Müller (G. F.) 552. 557.
Müller (J.) 53. 85. 102. 116. 119. 126. 131. 132. 133. 134. 137. 150. 160. 162. 219. 234. 240. 243. 245. 394. 530. 531. 811. 842.
Müller (J. H.) 178. 239.
Müller (Joh.) 391.
Müller (K.) 205. 242.
Müller (P. A.) 70. 87.
Müller (Ph.) 261. 291.
Müller (Statius) 642. 657.
Müller-Erzbach 54. 86. 154. 162.
Müller-Lechner 35.
Müller-Thurgau 267.
Müllner 815. 837.
München 123. 134.
Münster (Seb.) 379. 724. 763. 807. 898.
Müntz 16. 17. 18. 817. 842. 877. 929. 949. 956.
Müttrich 285. 286. 287. 294.
Muncke 13. 19. 23. 25. 27. 40. 41. 49. 56. 73. 80. 100. 132. 154. 221. 222. 228. 230. 233. 272. 420. 432. 435. 440. 444. 446. 449. 453. 458. 466. 482. 513. 520. 563. 581. 634. 660. 715. 725. 754. 782. 795. 816. 842.
Munier-Chalmas 800. 840.
Munk 150. 161.
Munster 436.
Munteanu-Murgoci 930. 956.
Munz 633. 634. 635. 657.
Murchison 780. 838. 905. 921. 936. 953.
Muret 321.
Murhard 5. 44.
Murphy 4. 44. 342. 345.
Murray 380. 393. 402. 407. 411. 416. 417. 436. 493. 528. 554. 555. 558. 651. 652. 653. 654. 655. 656. 658. 706. 709. 714. 774. 794. 814. 837. 839. 842.
Muschketow 615. 630. 748. 855. 913. 930. 943. 953. 956.
Musschenbroek 25. 40. 46. 47. 68. 232. 245.
Mutis 184.
Myer 348.

Nachtigall 147. 161. 308. 317. 929. 956.
Nägeli 19.
Näher 914. 954.
Nagel 414. 418.
Nahrwold 157. 162.
Nakamura 187. 240.
Nansen 127. 134. 184. 274. 275. 292. 304. 317. 377. 406. 427. 511. 512. 529. 530. 546. 549. 550. 557. 760. 761. 767.
Napoleon (I.) 617. 630.
Nares 402. 492. 548. 557.
Narducci 585. 630. 839. 947.
Nasini 797.
Nathorst 555.
Natterer 11. 403. 437. 439.

v. Nau 320. 343.
Naudet 57. 86. 87.
Naumann (E.) 866. 886. 948. 950.
Naumann (F.) 29. 46. 669. 692. 698. 703. 712. 713. 882. 950.
Navarrete 390. 528.
Necker de Saussure 108. 129. 133.
Neesen 151. 162.
Neger 555. 558.
Negretti 421. 437.
Nehls 451. 486.
Nehring 585. 629. 682. 693. 839. 926. 927. 944. 955. 959.
Nelli 49. 85.
Nelson 619.
Nerwander 173. 177.
Nettelbeck 438. 630.
Neuber 627. 631.
Neubert 53. 85.
Neuffer 954.
Neuhaus 33. 46.
Neumann (A.) 53.
Neumann (B.) 914. 954.
Neumann (C.) 161. 212. 241. 242. 243. 244. 274. 285. 292. 293. 294. 299. 316. 317. 318. 323. 343. 375. 392. 419. 526. 531. 586. 792. 799. 837. 839. 840. 930. 956.
Neumann (F.) 6. 7. 44. 472. 489.
Neumann (K. J.) 284. 293.
Neumayer 33. 109. 133. 166. 176. 208. 358. 359. 361. 421. 437. 446. 489. 497. 510. 529. 554. 555. 558.
Neumayr 338. 339. 341. 344. 637. 639. 645. 657. 669. 672. 676. 679. 680. 683. 687. 689. 692. 693. 694. 703. 713. 772. 836. 845. 847. 855. 856. 861. 862. 864. 865. 867. 869. 882. 892. 899. 903. 911. 913. 927. 934. 946. 947. 948. 950. 951. 952. 953. 955. 956. 957. 958.
Newsberry 480. 489. 953.
Newcomb 39. 47. 336. 344.
Newton (A. H.) 321.
Newton (J.) 8. 44. 61. 86. 100. 119. 120. 121. 124. 128. 132. 134. 165. 237. 245. 264. 384. 393. 416. 440. 455. 457. 461. 467. 470. 475. 486. 488. 521. 528. 531. 656. 838. 842.
Ney 71.
Nicholson 768.
Nichol 100. 132.
Nicol 102.
Nicolet 745. 765.
Niebuhr 392. 573. 587.
Niejahr 243.
Nielsen 774. 837. 842.
Niemann 625. 631.
Niemeyer 372.
Nies 669. 692.
v. Niessl 579. 587.
Nikin 175.
Nikitin 942. 958.
Nilsson 534.
Nipher 71.
Nipperdey 369. 374.
Nippoldt 67. 476. 489.
Nissen 320. 342. 922. 955.
Noë 931. 956.
Nögerath 691.
Nöllner 234.
Nördlinger 285. 286. 294.
Nötling 923. 941. 958.
Nollet 72. 160. 392. 543. 557.
Nonius 105. 132.
Nordenankar 504. 529. 563. 577. 585.
v. Nordenskiöld (A. E.) 112. 316. 366. 373. 402. 417. 427. 502. 511. 529. 534. 544. 549. 552. 556. 557. 558. 569. 586. 609. 630. 632. 656. 728. 760. 761. 764. 767. 802. 841. 950.
Nordenskiöld (O.) 683. 693.
Nordhoff 322. 343.
Nordmann 302. 317.
Norman-Neruda 711. 714.
North Rice 336. 344.
Notter 951.
Nottnagel 177.
Noyer 484.
Nürnberger 176. 489.
Nusser (s. Asport) 775. 837.

Oberbeck 201. 237. 238. 241. 245. 455. 487.
Oberhummer (E.) 774. 837. 938. 957.
Oberhummer (R.) 838. 886. 950.
Oberländer 302. 317.
v. Obermayer 21. 45. 143. 160. 161. 264. 291. 522. 531.
Obrutschew 617. 630.
Ochsenius 497. 622. 631. 633. 657. 687. 688. 689. 694. 770. 792. 836. 839.
Octavius 292.
Odin 893. 951.
Odorico da Pordenone 699.
Oebbeke 670. 692.
v. Oefele 798. 840.
Oehberg 173.
Oekinghaus 194. 241.
Oenopides 831.
Oersted 160. 521. 531.
Oertel 73. 372.
v. Oettingen 258. 291.
Oeyen 311. 317. 608. 630. 737. 748. 765. 765.
Ogilvie 869. 948.
Ohlert 189. 240.
Ohm 62. 86. 136. 160. 478. 489.
Olafsen 557. 807. 841.
Olaus Magnus 40.
Olbers 165. 176.
Oldham 655. 658. 892. 951.
Olearius 97. 131.
Olmstedt 233.
Olsen 35. 47.
Oltmanns 719. 763.
Olympiodor 787.
Omalius d'Halloy 676. 679. 693.
v. Oppel 641. 657. 670. 692.

Oppel 606. 611. 629. 630. 679. 680. 683. 693.
Oppenheim 332. 344. 855. 947.
Oppikofer 888. 951.
v. Oppolzer 93. 131.
Orellana 817.
Orioli 230. 244.
Ormerod 949.
Ortelius 378. 393.
Ortmann 391. 394. 644. 655. 657.
Ortt 472. 489.
Osann 798. 840.
Osborn 557.
Osnaghi 69. 87.
Ostertag 150. 161.
Ototzkij 792. 839.
Ott 843.
Otto 376. 393. 395. 490. 520. 523. 527. 528. 531. 532. 539. 540. 548. 549. 556. 557. 699. 712.
Overzier 166. 167. 176. 346.
Ovid 873. 949.
Oviedo 842.
Owen 903. 952.
Ozanam 72.

Pahde 512. 516. 517. 519. 530. 531.
Palagi 40. 47.
Palander 760.
Palissy 675. 692. 793. 801. 839.
Pallas 162. 395. 663 691. 695. 699. 712. 780. 838.
Palmén 261. 291.
Palmer 383. 393
Palmieri 135. 137. 138. 139. 141. 156. 160. 162.
Pape 44. 489. 878. 949.
Papin 57. 86.
Paracelsus 1. 43.
Paramelle 796. 840.
Parfait 402.
Pâris (Vater und Sohn) 444. 446. 447. 486.
Parmenides 248. 289.
Paromensky 46.
Parrau 617. 630.
Parrot 13. 99. 420. 437. 466. 467. 488. 532. 556. 719. 754. 763. 766. 903. 952.
Parry 42. 297. 316. 549. 550. 552.
Partiot 483. 490. 825. 844.
Partsch (J.) 161. 196. 212. 228. 241. 242. 243. 244. 274. 281. 283. 285. 292. 293. 294. 299. 307. 312. 316. 317. 318. 322. 323. 343. 392. 526. 531. 586. 700. 713. 714. 716. 721. 763. 799. 805. 806. 837. 839. 840. 841. 929. 930. 934. 942. 956. 957. 958.
Partsch (P.) 466. 488.
Parville 169.
Pascal 4. 60. 86.
Paschen 333. 344. 464. 488. 572.
Pasig 841.
Pasqualini 140. 160.
Passarge 417. 529. 950.
Passow 693.
Pasteur 364.
Paulitschke 318.
Paulsen 160. 208. 242. 537. 556.
Payen 840.
Payer 304. 317. 546. 557. 575. 587. 720. 763.
Peacock 613. 630.
Peale 808. 810. 841.
Peary 402. 548. 557. 727. 764.
Pech 837.
Pechuël-Lösche 17. 302. 317. 450. 486. 613. 621. 630. 631. 702. 713. 817. 842. 883. 886. 887. 891. 950. 951.
Peirce 410.
Pelech 767.
Peltier 137. 156. 160. 162. 222.
Pemberton 124. 134.
Penck 43. 283. 289. 293. 294. 339. 340. 341. 344. 345. 380. 393. 395. 407. 409. 415. 416. 417. 418. 536. 555. 556. 558. 562. 568. 569. 577. 578. 583. 584. 585. 586. 587. 588. 589. 590. 592. 593. 594. 595. 601. 602. 603. 605. 607. 608. 615. 619. 620. 622. 624. 625. 629. 630. 631. 634. 638. 639. 640. 655. 657. 658. 660. 666. 668. 682. 691. 692. 693. 695. 696. 697. 698. 699. 700. 701. 702. 703. 704. 705. 706. 708. 709 710. 711. 713. 714. 718. 721. 736. 737. 748. 759. 763. 764. 765. 766. 767. 771. 772. 773. 774. 775. 782. 811. 812. 814. 815. 816. 821. 822. 823. 824. 825. 828. 831. 833. 836. 837. 838. 842. 843. 844. 845. 846. 850. 852. 855. 859. 860. 862. 865. 866. 868. 873. 878. 879. 881. 882. 886. 888. 889. 890. 892. 893. 895. 896. 902. 904. 905. 906. 907. 910. 914. 915. 916. 919. 920. 921. 923. 925. 929. 930. 934. 935. 936. 938. 939. 940. 941. 942. 944. 946. 947. 948. 949. 950. 951. 952. 953. 954. 955. 956. 957. 958. 959.
Pennesi 816. 842.
Pentland 446. 486.
Perier 60.
Perkins 893.
Perlewitz 249. 289.
Pernet 50. 85.
Pernot 568.
Pernter 44. 63. 80. 86. 87. 88. 95. 99. 107. 112. 113. 131. 132. 133. 167. 168. 176. 199. 210. 211. 233. 235. 241. 242. 245. 263. 270. 282. 291. 292. 293. 360.
Perrault 793. 839.
Perthes 394.
Peschel 45. 241. 292. 317. 382. 393. 395. 407. 409. 416. 417. 433. 437. 438. 470. 483. 488. 490. 529. 530. 560. 575. 578. 579. 585. 586. 587. 604. 605. 607. 609. 614. 616. 624. 629. 630. 631. 633. 635. 636. 638. 650. 656. 657. 658. 689. 694. 695. 699. 709. 712 769. 771. 772. 808. 813. 823. 833. 841. 842. 843. 845. 906. 919. 925. 954. 955.

Pestalozzi 825. 843.
Peter (der Grosse) 72.
Petermann 6. 17. 377. 393. 403. 417. 502. 529. 550. 557.
Peters 476. 555. 558. 867. 915. 948. 954.
Petersen 811. 842.
Petitot 775. 837.
Petkvosek 839.
Petrelius 569. 586.
Petri 774.
v. Petrinò 864. 948.
Petrus Martyr 390. 394. 494. 528.
v. Pettenkofer 16. 362. 436. 439. 790. 791. 793. 825. 839. 844.
Petters 130.
Pettersen 562. 583. 585. 588.
Petterson 426. 435. 438. 439. 501. 529. 540. 541. 544. 556.
Petzold 757. 767.
Peucker 372. 374. 409. 413. 704. 706. 707. 713. 772. 773. 836. 837.
Pezenas 131.
Pezet 507. 530.
Pfaff (C. H.) 152. 162. 165. 176.
Pfaff (F.) 93. 131. 286. 294. 382. 393. 396. 416. 582. 585. 588. 669. 692. 725. 739. 746. 764. 765. 766. 768. 773. 817. 836. 837. 842. 860. 870. 948. 949.
Pfaundler 700. 713. 738. 765.
Pfeiffer 46. 685. 694. 941. 943. 958.
Pfeil 288. 294.
Philippi 314. 318. 781. 838. 928. 956.
Philippson 210. 242. 405. 417. 589. 592. 594. 600. 603. 613. 624. 628. 629. 630. 632. 639. 656. 657. 774. 806. 837. 841. 846. 851. 864. 875. 881. 887. 888. 908. 909. 910. 930. 935. 946. 947. 948. 949. 950. 951. 953. 956. 957.
Philippus 201.
Phillips 578. 587.
Phinney 799. 840.
Photius 787.
Piazzi Smith 104. 132. 172. 347. 360.
Picard 91.
Piccard 830. 844.
Piccolomini 379. 393.
Piche 68. 69. 87.
Pichegru 346.
Pichler 944. 959.
Pick 63. 87.
Pickering 73.
Pictet (A.) 756. 757. 767.
Pictet (R.) 24. 46. 757. 762. 767.
Piddington 222. 243.
Pike 41. 47.
Pilar 335. 336. 341. 344. 345. 578. 587. 668. 692. 860. 947.
Pilgram 3. 43.
Pillsbury 500. 501. 525. 529.
Pingel 566. 586.
Pini 584. 588.
Pinzon 494.
Pirner 403.
Pissis 689. 694.
Pitot 818. 843.
Pius (VI. Papst) 783.
Pixis 438. 488. 530.
Pizarro (Gonzalo) 817.
Plana 440. 486. 550. 557.
Planer 220.
Plantamour 82. 89. 460. 488.
Planté 146. 161. 222. 233. 243. 245.
Plassmann 112.
Plate 507. 530. 602. 629.
Plateau 454. 455. 487.
Platon 10. 44. 285. 321. 389. 462. 468. 470. 636.
Platz 708. 713.
Playfair 564. 578. 585. 665. 666. 691. 936.
Plehn 369. 374.
Pleischl 893.
Plenkers 662. 691.
Plinius 2. 160. 179. 239. 432. 438. 453. 463. 469. 488. 533. 630. 634. 692. 804. 831. 841.
Plott 382. 393. 543. 557.
Plücker 50. 85. 541. 556.
Plumandon 36. 231. 245.
Plutarch 241. 401. 453. 454. 487.
Pockels 146. 161. 194. 241.
Pöppig 29. 370. 374.
Poezinger 149. 161.
Poëy 31. 32. 46. 111. 133. 174.
Poggendorff 58. 85. 86. 95. 131. 133. 138. 184. 239. 240. 486. 556.
Poincaré 169.
Poisseuille 522. 531.
Poisson 141. 440. 444. 486.
Poissonnier 432.
Poitevin 170.
Pokorny 658. 764. 767. 846.
Polis 170. 177.
Pollack 35. 47. 723. 896. 951.
Polluge 319. 342. 343.
Polybius 505. 529. 572.
Pomel 929.
Pomortzew 84. 89.
Pomponius Mela 630. 634. 831. 913.
Pontoppidan 458. 487.
Poncelet 819. 843.
Ponzi 624. 631.
Popowitsch 376. 392. 527. 531.
Porter 376. 392.
Porth 556.
Pošepny 684. 694. 929. 956.
Posidonius 468. 469. 612. 661.
Poske 119. 133.
Posselt 109.
Postellus 378. 379. 393.
Pothenot 401.
Potinecke 915. 954.
Potonié 338. 344.
Pott 403.
Pouchet 412. 417. 497.
Pouillet 36. 47. 156. 162. 262. 263. 265. 266. 291.
Poulett Scrope 905. 953.
v. Pourtalès 410. 417. 652. 658.

Povelsen 557. 841.
Powell (Baden) 555.
Powell 906. 953.
Pralle 832. 844.
Prantl 44.
Pravaz 371. 374.
Precht 275. 292. 415. 418. 694.
Prechtl 232. 245.
Prestel 34. 47. 69. 79. 87. 88. 166. 176. 214. 224. 243. 244. 281. 293.
Prestwich 420. 424. 437. 569. 586. 610. 630. 669. 692. 941. 958.
Prettner 69. 87.
Prevost 99. 130. 132. 135. 579. 587. 857. 947.
Preyer 807. 841.
Priestley 10. 14. 16. 44. 100. 122. 124. 132. 134. 161.
Prillieux 252. 290.
Prince 163. 175.
Prinsep 53.
Prinz 27. 46. 891. 951.
Priscianus 429.
Probst 340. 341. 345.
Probus (Kaiser) 277.
Procopius 505. 529.
Pröll 840.
Prohasca 142. 147. 160. 161. 224. 225. 231. 244. 245.
v. Prondzinski 414.
Prontschischtschew 552.
Pronz 41. 783. 820. 838. 843.
Prowe 321. 343.
Prudentius 615.
Prshewalski 313. 318.
Ptolemäus 91. 116. 163. 271. 763.
Puehler 398. 416.
Puff 277. 293. 426. 438. 492. 528.
Pullen 420. 437.
Puls 506. 507. 530.
Pumpelly 913. 953.
Purchas 807.
Purtscheller 751.
Putick 771. 836. 901. 903. 952. 956.
Pyrard 648.
Pytheas 462. 468. 533.

Quandt 612. 625. 630.
Quatrefagas 587.
Quatremere (Disjonval) 346. 360.
Qenault 571. 586.
Quenstedt 676. 679. 692. 693. 901. 952.
Quetelet 40. 257. 259. 290. 357. 361.
Quidde 707. 713.
Quincke 454. 487. 876.
Quoy 655. 658.

Rabot 729. 748. 764.
Rabl 886. 950.
Rachel 551. 557.
Radau 87. 262. 291.
Radbod 599.
Radicke 121. 134.
Rae 544. 557.
v. Raesfeldt 832. 844.
Raffles 46.
Raganti 233. 245.
Ragena 69. 81. 88. 109. 133. 160. 178.
Rahn 259. 291.
Raineri 454. 487.
Ramazzini 59. 362. 373. 801. 841.
Ramond 62. 63. 86. 152. 719. 738. 763. 879. 949.
Ramsay 16. 26. 595. 603. 607. 628. 629. 672. 692. 774. 797. 837. 921. 955.
Ramsden 56.
Ranke 682. 693.
Rankine 441. 442. 486. 817. 818. 842.
Ransom 948.
Rappold 320. 342.
Raschig 170. 177.
Raspe 243. 663.
vom Rath 221. 243. 799. 840. 928. 956.
Ratzel 26. 40. 46. 47. 247. 283. 289. 293. 296. 316. 349. 360. 361. 364. 373. 414. 418. 458. 487. 555. 558. 591. 605. 607. 620. 628. 629. 631. 638. 657. 682. 693. 715. 716. 718. 721. 722. 730. 763. 764. 880. 881. 887. 906. 921. 926. 940. 950. 951. 953. 955. 957.
Raucourt 819.
Raulin 313. 318.
v. Raumer 667. 692.
Rausenberger 238. 245.
Ravenstein 918. 954.
Rawlinson 828. 844.
Ray 371. 663. 691.
Rayleigh (Lord) 16. 100. 101. 132. 387. 394. 442. 455. 486. 487. 776.
Raymund 809.
Read 952.
Reaumur 49. 50. 81. 85. 258. 290.
Reber 657.
v. Rebeur-Paschwitz 29. 46.
Rebmann 198.
Reck 315. 318.
Recknagel 73. 74. 88. 239. 245. 362.
Reclam 119. 133. 134.
Reclus 490. 616. 630. 650. 658. 802.
Redfield 178. 179. 222. 239. 494.
Redhouse 132.
Redman 601. 629.
Regel 897. 931. 951. 956.
Regelmann 796. 814. 840. 842.
Regnault 11. 65. 66. 67. 87.
Regnet 713.
Régy 601. 629.
v. Reibnitz 427.
Reich 148. 161. 364. 373.
Reichenbach 695. 712. 923. 955.
Reid 179. 239.
Reimann 90. 91. 97. 115. 131. 133. 146. 161.
Reimarus 148. 161.
Rein 198. 299. 316. 573. 587. 609. 630. 651. 652. 655. 774. 824. 837. 843.
Reinach 692.
Reinacher 76.

v. Reinhardstoettner 844.
Reinhertz 64. 87.
Reinhold 670. 692.
Reinke 876.
Reis 11. 42. 44. 47. 174. 177. 831. 844.
Reiset 17.
Reiss 63. 87. 575. 587.
Reissenberger 242.
Reiter 553. 554. 558. 781. 838. 854. 927. 947. 956.
Reitz 64. 87. 383.
Remmer 605. 629.
Renard 411. 417.
Renault 677. 693.
Rendu 728. 731. 732. 746. 764.
Renk 17. 19. 45. 239. 245.
Rennell 376. 494. 502. 509. 520. 529. 530. 531.
Renner 916. 954.
Renou 234. 278. 293.
Retzius 837.
Reuleaux 42. 47.
Reusch 203. 242. 859. 871. 905. 947. 949. 952.
Reuss 663.
Reye 28. 46. 179. 180. 218. 222. 223. 234. 239. 243.
Reyer 572. 580. 586. 587. 664. 684. 691. 694. 858. 861. 862. 864. 870. 871. 895. 904. 913. 934. 949. 950. 951. 952. 953. 955. 957.
Reyger 257. 290.
Reyher 429.
Reynold 41. 229. 244. 455. 487. 821. 822. 843.
Rhemnius (Fannius Palämon) 429.
Riccardi 232. 245.
Ricchieri 560. 563. 571. 585. 586. 588. 706. 713.
Ricci 55.
Riccioli 35. 47. 171. 380. 393. 470. 527. 531. 708. 713. 823.
Riccò 110. 111. 133. 299. 316.
Richard (II. König) 617. 630.
Richard 54. 59. 77. 86.
Richarz 224.
Richmann 181.
Richter (A.) 34. 46. 170. 177.
Richter (C. E. M.) 453. 487.
Richter (E.) 285. 293. 326. 342. 343. 345. 438. 605. 608. 629. 630. 721. 725. 728. 739. 747. 748. 749. 750. 752. 753. 754. 764. 765. 766. 773. 778. 779. 822. 837. 838. 843. 879. 919. 935. 949. 955. 957.
Richter (J. P.) 416. 843.
Richter (M. M.) 454. 487.
v. Richthofen 197. 204. 241. 242. 529. 561. 564. 573. 585. 587. 589. 590. 593. 594. 595. 600. 601. 602. 603. 615. 619. 620. 622. 627. 629. 630. 631. 637. 638. 645. 652. 657. 658. 673. 674. 684. 692. 694. 700. 701. 702. 712. 713. 714. 729. 764. 769. 772. 789. 836. 839. 845. 851. 855. 860. 865. 869. 872. 873. 874. 876. 877. 881. 882. 884. 886. 889. 892. 906. 907. 908. 913. 919. 922. 926. 927. 928. 946. 947. 948. 949. 950. 951. 953. 955. 956.
Ricketts 578. 587. 864. 943. 948.
v. Riedl 946. 959.
Riegler 68.
Riess 162.
Rigaud 380. 393.
Riggenbach 33. 36. 46. 47. 106. 107. 110. 132. 283. 293.
Rimmer 618. 631.
Rimrod 905. 953.
Ringwood 112. 133.
Rink 208. 242. 321. 534. 556. 609. 630. 762. 767.
Ripperger 363. 373.
Ristoro (v. Arezzo) 379. 393. 560. 585. 616. 630. 793. 839. 856. 947.
Ritchie 96. 131. 143.
Rittau 394. 609. 630. 637. 650. 657. 658.
Ritter (A.) 7. 8. 44. 46.
Ritter (C.) 45. 292. 376. 378. 380. 382. 393. 395. 414. 416. 418. 437. 488. 530. 585. 591. 604. 625. 628. 629. 631. 656. 694. 699. 700. 703. 712. 713.
Ritter (Ch. W.) 900. 952.
Ritter (E.) 776. 837.
Rivius 687. 694.
Rizzo 324. 343.
Robert 563. 585.
Roberts 478. 489.
Robinson 73. 88.
Rodler 715. 763.
Roebel 940. 958.
Röber 137. 160.
Roedel 769. 836.
Röder 206.
Röhl 486. 557. 586.
Röllinger 269. 292.
Roemer 676. 692.
Rösel 293.
Röntgen 58. 86. 265. 292. 455. 487.
Rössler 663. 946. 959.
Röttger 176. 178.
Rogers 606. 629. 851. 858. 947.
v. Rohde 334. 335. 344.
Rohlfs 143. 147. 161. 278. 287. 293. 303. 313. 317. 318. 788. 927. 929. 956.
v. Rohr 227. 244.
Rohrer 886. 950.
Rohrbach 416. 418.
Roiti 140. 160.
Roland 17.
Rolland 928. 930. 956.
Romanowski 913.
Romershausen 137. 160.
Romieux 568. 586. 710. 714.
Romme 354. 464. 488.
Romstöck 230. 244.
Ronald 77.
Roscoe 104. 132. 280. 293.
Rose 903. 952.
Rosen 584. 588.

Rosenberger 44. 46. 47. 48. 56. 61. 85. 86. 87. 131. 134. 161. 162. 239. 240. 392. 394. 418. 437. 486. 487. 488. 531. 556. 782. 805. 838. 851.
Rosenbusch 669. 692.
Rosenmüller 900. 952.
Rosenthal (G. E.) 220.
Rosenthal (G. H.) 257. 290.
Rosenthal (J.) 362.
Rosetti 40. 419. 437.
Ross (James) 236. 402. 428. 537. 552.
Ross (John) 410. 420. 424. 537. 552. 716.
Rosset 647. 658.
Rossikow 748.
Rotch 83. 89.
Roth (A.) 755. 766.
Roth (E.) 928. 956.
Roth (F.) 21. 43. 45. 47. 189. 240. 271. 292. 800. 841.
Roth (J.) 432. 438. 439. 587. 669. 672. 677. 692. 693. 799. 840. 841. 877. 903. 949. 952.
Roth (S.) 777. 836. 838.
Rothe 246. 289. 465. 488. 705. 713.
Rothlauf 10. 44.
Rothmann 91.
Rothpletz 683. 694. 800. 809. 840. 841. 858. 860. 863. 864. 865. 867. 868. 869. 881. 895. 948. 950. 951.
Rottée 147. 161.
Rottek 454. 487.
Rouelle 677.
Rouire 929.
Rouvier 841.
Rozet 583. 588.
Rucktäschel 916. 954.
Rudaire 920. 956.
Rudolf (v. Hohenems) 636. 657.
Rudzki 480. 489. 677. 693. 864. 948.
Rücker 430. 438. 455. 487.
Rühlmann 61. 62. 63. 86. 87. 400. 416.
Rütimeyer 604. 608. 629. 630. 772. 836. 906. 919. 953. 955.
Ruge 45. 200. 284. 292. 293. 359. 361. 375. 378. 392. 393. 416. 437. 488. 494. 528. 529. 530. 552. 553. 557. 585. 597. 629. 632. 656. 657. 694. 712. 842. 843. 954.
Ruhle 511. 530.
Ruith 879. 949.
Rumford 100. 419. 437. 876. 949.
Rumphius 390.
Rundlund 290.
Runeberg 330. 343. 577. 578. 587. 941. 958.
Rung 71.
Russegger 576.
Russel (J. C.) 759. 781.
Russell (F. A.) 22. 46. 112.
Russell (H. C.) 243. 326. 343. 573. 587.
Russell (R.) 25. 46. 228. 244.
Rutherford 54. 86.
Ruvarac 822. 823. 843.
Ruysbrock 699.
Ryder 427.
Rynmann (Reynmann) 2. 43.
van Rysselberghe 77. 88.
Rykatschew 169. 177. 186. 240. 255. 256. 290. 834. 845.
Rzehak 628.

Saalschütz 252. 290.
Sabine 166. 176. 361. 494. 731.
Sabler 93. 131.
Sacco 568. 586.
Sachau 114.
Sachs (C.) 826. 844.
Sachs (Hans) 812. 842.
Sachs (J.) 258. 290. 729. 764.
Sachse 80. 88.
Saegert 833. 844.
Saijo 299. 316.
Sainte-Claire-Déville 386. 394.
Salcher 393.
Salfeld 784. 838.
Salisbury 548. 557. 950.
Salmoiraghi 886. 950.
Salvadori 797.
Sandberger 676. 684. 694. 899. 952.
Sanders 452. 486.
Sandler 569. 583. 584. 586. 588.
Sands 410.
Santorio (Sanctorius) 48. 85.
Sapper 303. 317. 809. 842.
Sarasin (E.) 383. 393. 457. 459. 460. 487. 488. 776.
Sarasin (P.) 639. 657.
Sarrazin 228. 244.
Sartorius 458.
Sartorius v. Waltershausen 340. 344. 345. 503. 529. 807. 841.
Sary 491.
v. Sass 434. 438.
Satke 188. 240. 341. 345.
Saussure (H.) 929. 956.
Saussure (H. B.) 4. 21. 40. 45. 52. 63. 66. 68. 83. 87. 96. 97. 99. 131. 132. 143. 156. 161. 162. 178. 239. 293. 370. 374. 385. 458. 460. 487. 719. 724. 725. 736. 746. 747. 757. 856. 880. 886. 947. 950.
Saussure (Th.) 16. 17. 252. 290.
Sauter 146. 161.
Sauvageot 870.
Savart 152.
Saveliew 171. 177. 265. 266. 292.
Savile Kent 654. 658.
Saxo Grammaticus 806.
Scala 529.
Schacht 784. 838.
Schaefer (A.) 844.
Schaefer (R.) 871. 921. 942. 955. 958.
Schafhäutl 667. 692.
Schalaurow 552.
Schardt 860. 871. 948. 949.
Schaubach 699. 712. 713. 886. 950.
Scheele 13. 14. 45.
Scheiben 487.

Scheiner 127. 134.
Scheidt 691. 903. 952.
Schellen 145. 150. 161. 162. 403. 417.
Schellong 366. 373.
Schenk 676.
Scherer 556.
Scherzer 317. 318.
Scheuchzer 61. 83. 86. 577. 587. 675. 724. 744. 745. 754. 765. 766. 798. 803. 840. 841.
Schiaparelli 8. 44. 169. 170. 177. 344. 419. 437.
Schichtel 317. 484. 490. 917. 918. 954.
Schjerning 773. 837.
Schildbach 354. 360.
Schiller 246. 723.
v. Schilling 336. 344. 513. 514. 530.
Schimper (A. F. W.) 620. 631. 676.
Schimper (K. F.) 777. 805. 838. 936. 957.
Schindler 774.
Schinz 299. 316. 788. 839.
Schips 244.
Schirmer 927. 928. 956.
Schirren 496. 529.
Schläfli 20. 222. 243.
v. Schlagintweit (A.) 131. 717. 763. 765. 795. 840.
v. Schlagintweit (H.) 17. 96. 131. 371. 374. 717. 720. 738. 746. 757. 763. 765. 767. 780. 838. 886. 950.
v. Schlagintweit (R.) 17. 907. 926. 953. 955.
Schleiden 432. 438. 685. 694.
v. Schleinitz 173. 177. 338. 344. 386. 403. 426. 485. 490. 551. 557.
Schlemüller 11. 44. 269. 270. 292.
Schlesicke 107. 132.
Schlichting 833. 845.
Schliemann 307. 317.
Schlömilch 78. 88. 407. 417.
v. Schlotheim 676. 692.
Schley 402.
Schlösser 693.
Schlüter 44. 680. 693.
Schmalhausen 573. 587.
Schmarda 417.
Schmeisser 684. 694.
Schmelck 435. 436. 439.
Schmick 335. 336. 344. 579. 587. 836.
Schmid (K.) 897. 951.
Schmidl 886. 903. 904. 950. 952.
Schmidmayer 435.
Schmidt (?) 227. 244.
Schmidt (Ad.) 80. 82. 88. 89. 127. 134. 186. 240.
Schmidt (Alb.) 769. 836.
Schmidt (Aug.) 129. 134. 180. 239. 480. 489.
Schmidt (B.) 160.
Schmidt (C.) 321. 343. 919. 955.
Schmidt (E.) 4. 9. 44. 513. 515. 530. 553. 558. 708. 712. 713.
Schmidt (G. G.) 7. 8. 44.
Schmidt (J.) 274. 292.
Schmidt (K.) 931. 956.
Schmidt (M. Geodät) 64. 87. 670. 692. 819. 842.
Schmidt (M. B. C.) 429. 438.
Schmidt (O.) 924. 955.
Schmidt (W.) 393. 416. 418. 793. 839. 914. 954.
Schmitz 840.
Schmulewitsch 876.
Schmutz 773.
Schneidemühl 179. 238. 239. 245.
Schneider (E.) 225. 244.
Schneider (F. A.) 164. 176.
Schneider (G.) 597. 629.
Schneider (K.) 889. 910. 951. 953.
Schoch 270. 292.
Schoder 63. 87.
Schön 347. 360.
Schönamsgruber 942. 958.
Schöner 393.
Schönbein 15. 45.
Schönrock 27. 37. 46. 47. 278. 293.
Schöpf 494. 529. 931. 941. 956. 958.
Schöpner 46.
Schöttl 322. 343.
Scholz 38. 47.
v. Schorlemmer 132.
Schorler 826. 844.
Schornss 139.
Schott (G.) 253. 290. 404. 405. 417. 423. 425. 426. 427. 432. 434. 437. 438. 446. 447. 483. 486. 490. 495. 496. 498. 499. 502. 504. 506. 508. 517. 529. 530. 544. 557.
Schott (K.) 55. 86.
Schouw 236. 321. 343.
Schrader 869. 948.
v. Schrank 785. 835. 838. 845.
Schreiber (J.) 115. 133.
Schreiber (P.) 54. 58. 59. 62. 79. 82. 85. 86. 87. 88. 89. 166. 176. 400. 416. 823. 843.
v. Schrenck 433. 438. 509. 530. 770. 836.
Schröder 695. 712.
Schröter 913. 953.
Schtschukin 767.
Schubert (H.) 383. 393.
Schubert (F. W. A.) 176. 241. 393. 530. 531. 557. 631. 657. 713. 716. 763. 954. 955.
Schubert (J.) 286. 294.
Schübler 140. 160. 165. 169. 176. 258. 290. 346. 360.
Schück 218. 243. 358. 360. 361. 483. 490.
Schütt 416. 418.
Schütze 878. 949.
Schukewitsch 265. 292.
v. Schultén 465. 488. 581. 588.
Schultheiss 97. 131. 224. 244. 312. 318.
Schultz (A. F. W.) 292.
Schultz (Fr.) 395. 416. 699. 712.
Schultz (H.) 353. 360.
Schultz (J. F. H.) 479. 489.
Schultze 58. 86. 414.

Schulze 17.
Schumacher (C.) 488.
Schumacher (H. A.) 65. 87. 541. 556.
Schumann 290. 414. 618. 631.
Schunke 738. 765.
Schuster 155. 162. 172. 173. 177.
Schwaab 234. 245.
Schwabe 173.
Schwager 384. 393. 777. 798. 817. 826. 838. 840. 842. 844.
Schwahn 597. 618. 620. 629. 631.
Schwaiger 87.
Schwalbe 754. 755. 756. 757. 766. 767. 901. 952.
Schwartz 5. 44.
Schwarz 772. 836.
Schwarze 720. 763.
Schwatka 134. 574.
Schwedoff 229. 232. 244.
v. Schweiger-Lerchenfeld 89. 447. 486.
Schweinfurth 788. 839. 914. 954.
Schweizer 95. 131.
Schwendener 258. 290.
Schwenter 429. 438.
Schwerd 125. 134.
Schwirkus 58. 86.
Scipio 624.
Scobel 700. 713.
Scopoli 256.
Scoppewer 542. 543. 544. 557.
Scoresby 39. 47. 118. 129. 133. 389. 394. 420. 428. 438. 446. 454. 487. 494. 534. 535. 549. 556. 557. 728.
Scott Elliot 198.
Scott (J. R.) 5. 44. 112. 217. 350. 443. 444. 486.
Scott (R. H.) 85. 88.
Scultetus 346. 360.
Sczechényi (Graf) 771. 836.
Secchi 59. 69. 77. 86. 88. 104. 132. 387. 394.
v. Seckendorf 832. 844.
Sédillot 40.
Seeland 244. 740. 748. 765. 773. 837.
Seemann 169. 241. 243.
Sefström 936. 939. 543. 957.
Segesser 228.
v. Segner 165. 176.
Seguin 13.
Seibt 382. 383. 393.
v. Seidel 791. 839.
Seidl 82. 89. 211. 212. 243.
Seler 693.
Seleucus 375. 392. 468. 488.
Selinger 145.
Semper 338. 339. 341. 342. 344. 345. 651. 658. 693.
Sendtner 18. 45. 53. 257. 290. 785. 838.
Senebier 16. 45. 252. 256. 290.
Seneca 2. 119. 133. 379. 559. 585. 602. 629. 634. 661. 793. 831. 839.
Senft 614. 616. 630. 783. 838. 874. 903. 949. 952.
v. Sengbusch 774.
Sepp 766.
Serbin 661. 691. 947.
Sérisiat 928. 956.
Serpa Pinto 816. 924. 955.
Serret 44.
Sexe 583. 588.
S'Gravesande 456.
Shakespeare 4. 44.
Shaler 579. 587. 620. 628. 631.
Shaw 648. 726. 764.
Siau 443. 486. 627. 631.
Siber 2. 43. 488.
Sibiriakow 552.
Sickenberger 788.
Sieger 42. 43. 47. 327. 343. 459. 465. 487. 478. 560. 569. 571. 580. 581. 558. 586. 587. 588. 733. 748. 764. 766. 771. 774. 775. 836. 837. 882. 923. 939. 950. 955. 957.
Siegesbeck 163. 175.
Siegfried 892. 931. 951. 956.
Siemens (Werner) 113. 143. 156. 161. 162. 235. 236. 237. 245. 422.
Siemens (William) 162. 400. 401. 416.
Siemiradzki 942. 958.
Sievers 315. 318. 713. 886. 929. 943. 950. 956. 958.
Sjewjerzow 283.
Sigorgne 165. 176.
Sigsbee 397. 399. 416. 428. 501.
Sigsen 39. 47.
Silberschlag (G. C.) 663. 691.
Silberschlag (J. E.) 129. 134. 663. 691. 826. 844. 870. 949.
Simmler 738. 765.
Simony 721. 735. 740. 765. 773. 837. 880. 881. 887. 950.
Simpson 92. 131. 705. 706. 709. 713. 714.
Sinclair 60. 86.
Singer 33. 46. 791. 839.
Sjögren 598. 629. 886. 950.
Sivel 84.
Six 54. 86. 266. 292. 420. 421.
Skalicky 856. 947.
Skelford 631.
Skewes 557.
Skinga 29.
Skylax 389. 627.
Smith (A.) 17.
Smith (H.) 684.
Smith (J.) 586.
Smith (M.) 140. 160.
Smith (R.) 90. 102. 131.
Smith (W. H.) 505. 529. 676. 690. 692.
Snellen 190. 240.
Snellius 91.
Snyder 816. 842. 903. 952. 957.
Socin 324.
Sohncke 84. 89. 100. 107. 125. 132. 134. 155. 156. 157. 158. 159. 162. 163. 223. 281. 293. 354. 360. 455. 487. 618. 630. 631.
Sokolow 327. 615. 630. 930. 956.
Soldani 677.

Solinus 533.
Sollas 648. 655. 658.
Solms (Graf) 677. 693.
Sommer 176.
Sommerfeld 82. 89. 478. 489.
Sonderhof 94. 131.
v. Sonklar 450. 451. 486. 622. 631. 698. 699. 704. 706. 710. 712. 713. 714. 728. 764. 789. 795. 816. 830. 831. 839. 840. 842. 844. 919. 955.
Sonne 812. 834. 842. 845.
Sonntag 794. 839.
Soret (Ch.) 102. 132.
Soret (F. J.) 119.
Soret (J. L.) 8. 44. 102. 103. 132. 385. 386. 388. 394. 460. 488. 776. 838.
Sorge 477. 489.
Soyka 790. 829. 839. 844.
Spallanzani 484. 490.
v. Spécz 436. 439.
Spencer 569.
Spengel 903. 952.
Spiess 153. 162.
Spindler 405. 417.
Spinelli 84.
Spinoza 119. 120. 134.
Spitaler 251. 275. 289. 292. 341.
Spon 487.
v. Sprecher 897.
Spring 17. 157. 162. 386. 387. 394. 776. 825. 837. 838. 871. 949.
Sprung 5. 44. 46. 59. 60. 68. 74. 76. 86. 87. 88. 179. 189. 191. 193. 201. 202. 205. 209. 222. 234. 235. 236. 239. 240. 241. 242. 243. 245. 262. 291.
Ssresnewsky 181. 217. 243.
Stache 639.
Stade 760.
Stadler 876. 949.
Stahl 4. 44.
Stahlberg 930. 956.
Stahlberger 383. 393. 400. 416.
Stalder 206.
Stange 708. 713.
Stanley 308. 317.
Stapff 720. 754. 763. 766. 794. 802. 839. 841. 859. 861. 871. 873. 943. 947. 949. 958.
Stark 942. 958.
Stas 386.
Stassano 918. 954.
Staub 206. 257. 259. 260. 290. 291.
Staudinger 303. 317. 929. 956.
Stebnitzki 720. 763.
Stecher 815. 842.
Steck 774. 837. 894. 951.
Steen 187. 240.
Steenke 543. 557.
Steenstrup 534. 562. 575. 585. 618. 631.
Stefan 68. 87.
Stefanović v. Vilovo 588. 833. 845. 900. 914. 915. 952. 954.
Steffen 609. 630.
Steffens 695. 712.
Steger 317.
Steifensand 95. 131.
Steinbach 647. 658.
Steinberg 932. 956.
v. d. Steinen 555.
Steiner 799. 840. 899.
Steinhauser 270. 292. 414.
Steinmann 676. 693. 855. 942. 947. 958.
Steinvorth 154. 162.
Stelling 278. 293.
Stellwagen 410.
Steno 661. 662. 691.
Stenzel 232. 245.
Stern 687. 694.
Steudel 176.
Stevens 804.
Stevenson 51. 57. 74. 86. 173. 190. 202. 447. 448. 451. 486.
Stevin 34. 464. 467. 469. 471. 488. 616. 618. 630. 631. 845. 856. 947.
Stichler 723. 763.
Stieda 529.
Stillfried 951. 897.
Stillingfleet 256.
Stipriaan Luiscius 399. 416.
Stöhrer 137.
Stöwe 164. 167. 175.
van der Stok 170. 177. 476. 478. 479. 481. 489.
Stokes 76. 112. 113. 133. 441. 486. 522. 531.
Stokvis 366.
Stoletow 157.
Stoll 105. 132.
Stolley 800. 840.
Stone 172.
Stoppani 650. 658. 687. 694.
Stow 51. 573. 587. 637. 657.
Strabon 272. 284. 292. 293. 379. 414. 418. 449. 468. 486. 488. 492. 528. 559. 585. 614. 621. 625. 630. 631. 632. 656. 661. 691. 804. 841. 856. 912. 949.
Stracciati 132. 263. 291.
Strachan 44. 648.
Strachey 112. 174. 177.
Straton 505. 559. 585.
Strauss 469. 488.
v. Streffleur 835.
Strehlke 220. 243. 544. 557.
Streintz 166. 170. 176.
Strelbitzky 814. 842.
Streng 804. 841.
Strickland 805.
Stromberg 88.
Struve 797. 840.
Struyck 377. 393.
Studer (B.) 666. 724. 750. 763. 766. 862. 948.
Studer (Th.) 392. 394. 647. 651. 652. 657. 658.
Studnička 283. 293. 311. 318.
Stulli 466. 488.
Sturm 65. 175. 348. 382. 393. 675.
Stur 905. 944. 952. 959.

Suchier 824. 843.
Suchsland 155. 162.
Suda 896. 951.
Sudhoff 1. 43.
Süring 180. 239.
Suess 222. 243. 504. 529. 553. 558. 560. 563. 565. 567. 572. 573. 574. 575. 578. 579. 582. 584. 585. 586. 587. 588. 607. 629. 637. 657. 683. 798. 840. 846. 847. 848. 850. 851. 852. 853. 854. 855. 858. 859. 860.
Sulzer 570. 868. 915. 946. 947. 948. 954.
Supan 6. 181. 183. 190. 214. 239. 240. 243. 247. 249. 251. 273. 274. 283. 285. 288. 289. 292. 293. 294. 297. 300. 301. 305. 306. 307. 310. 311. 312. 314. 315. 316. 317. 318. 330. 342. 343. 345. 378. 380. 393. 394. 404. 407. 416. 417. 424. 426. 427. 430. 434. 438. 457. 487. 493. 499. 500. 519. 528. 529. 531. 546. 553. 556. 558. 561. 565. 567. 570. 584. 585. 586. 588. 602. 620. 629. 631. 635. 638. 640. 657. 658. 692. 709. 714. 720. 762. 763. 767. 778. 782. 831. 838. 839. 840. 844. 875. 889. 904. 906. 909. 910. 924. 932. 948. 950. 951. 952. 953. 954. 955. 956.
Surell 835. 845.
Sven Hedin 733. 764. 780. 838.
Sverdrup 512.
Swarowsky 324. 343. 827. 844.
Swedenborg 563. 577. 585. 587.
Swensen 11.
Swerinzew 923. 955.
Swindell-Burnell 801. 841.
van Swinden 40.
Sworykin 67. 87.
Sykes 184. 240. 283.
Symmer 150.
Symons 2. 43. 44. 51. 71. 133. 226. 244.
Synesius 429.
Széchenyi (Graf) 950.'
Szombathy 901. 952.
Szulyo 950.

Tacitus 533. 630.
Tacke 784. 786. 838.
Tait 15. 158. 162. 202. 477. 489. 746. 765.
Talbot 77.
Tanfiljew 782. 926. 955.
Tanstetter 44.
Tarnuzzer 897. 951.
Tarr 726. 759. 764. 767.
Tarry 349. 360.
Tartini 477. 489.
Taylor 864. 948.
v. Tchihatcheff 572. 586.
Teisserenc de Bort 183. 236. 237. 240. 245. 252. 278. 357. 361.
Tenne 920. 955.
Teuscher 950.
Thales 831.
v. Than 798. 840.
Thebesius 452. 486. 577. 587.
Themistocles 196. 241.
Thénard 17.
Thenn 87.
Theobald 321.
Theodorich (der Grosse) 119. 783.
Theophrast 2. 207. 242. 273. 287. 390. 461.
Theophylaktos Simokattes 453. 487.
Theorell 77. 78.
Thibaut de Chanvalot 184.
Thiel 353.
Thiem 789. 792. 839.
Thiesen 74. 88.
Thietmar (Bischof) 387.
Thirion 128. 134.
Thölden 429.
Thomas 290. 372. 374.
Thomassen 82.
Thomson (F.) 402.
Thomson (J.) 137. 179. 235. 245. 478. 489. 732. 733. 746. 764. 765. 822. 843. 916. 954.
Thomson (William) 38. 137. 139. 160. 187. 240. 397. 400. 471. 476. 477. 478. 479. 480. 481. 489.
Thomson (Wyville) 336. 344. 402. 416. 420. 424. 426. 438. 855. 947.
Thoroddsen 548. 557. 571. 586. 764. 806. 807. 841.
Thorpe 17. 430. 438.
Thoulet 376. 393. 412. 413. 417. 418. 429. 430. 438. 602. 622. 625. 629. 631. 672. 692. 773. 778. 837. 838. 882. 890. 920. 950. 951. 955.
v. Thünen 407.
Thürach 942. 958.
Thurmann 857. 947.
Thury 757. 767.
Tiedgen 356.
Tietze 413. 417. 554. 558. 581. 588. 806. 841. 854. 901. 905. 906. 929. 934. 935. 947. 952. 953. 956. 957.
Tilas 882. 950.
Tilesius 952.
Tillmann 228. 244.
v. Tillo 275. 292. 344. 381. 407. 417. 695. 709. 712. 714. 771. 814. 836. 842.
Timm 360.
Timosthenes 72. 622.
Tippenhauer 317.
Tiselius 459.
Tissandier 19. 47. 84. 89.
Tittel 597. 599. 629.
Toaldo 165. 169. 176. 465. 488.
Tobler 206.
Töpfer 311. 318.
Töpler 239. 245.
Toldt 288. 294.
v. Toll 573. 587. 759. 767.
Tomaschek 173. 258. 291.
Tomlinson 235. 245. 782.
Torell 410. 417. 529. 950.
Torelli 368. 374.

Torricelli 4. 55. 60. 82.
Tornöe 430. 436. 438. 439.
Torquatus 769.
Torres Campos 814. 842.
Toula 585. 588. 754. 766. 808. 833. 835. 836. 841. 845. 859. 879. 886. 913. 930. 947. 950. 953. 956.
Tournefort 527.
Townley 10. 61.
Toynbee 199. 241. 305. 317. 358. 361. 486. 509. 530.
Trabacco 572. 586.
Trabert 101. 132. 195. 204. 231. 241. 242. 244. 265. 266. 292.
Trabucco 846. 849.
Träger 591. 611. 612. 628. 630.
Tralles 23. 269. 292.
Trampler 933. 957.
Traumüller 3. 43. 110. 133. 349. 360.
Trautmann 4. 44.
Trautschold 579. 580. 587.
Trautweiler 951.
Treiber 90. 131.
Trembley 61. 642. 657.
Tresca 743. 765. 860.
Treutlein 821. 842. 843. 916. 954.
Trientl 322. 943.
Triessl 958.
Tromholt 172.
Tronow 943.
Troska 267. 292.
Truchet 17.
Tscheljuskin 552.
Tschernyschew 573. 587.
v. Tschudi 321. 343. 370. 374. 756.
Tümmler 251. 289.
Tulla 916.
Turner 489.
Tyndall 39. 40. 41. 47. 122. 123. 134. 209. 242. 265. 292. 371. 374. 385. 386. 394. 608. 629. 725. 730. 731. 732. 733. 734. 735. 738. 739. 740. 741. 742. 746. 747. 751. 764. 765. 766. 768. 836. 921. 955.
Tylor 579. 587. 624. 625. 631.

Ucke 14. 45.
Uebelacker 840.
v. Uechtritz 781. 838.
Uhl 618. 630.
Uhlig 338. 344. 657. 669. 676. 692. 693. 694. 836. 856. 861. 862. 864. 865. 867. 892. 903. 911. 913. 927. 946. 947. 948. 950. 951. 952. 953. 955. 956. 957. 958.
Ule 254. 290. 385. 393. 568. 586. 772. 773. 776. 777. 778. 787. 823. 836. 837. 838. 839. 843. 899. 920. 952. 955.
Ullmann 133.
Ullrich 695. 712.
Ulloa 129.
Umlauft 5. 44. 307. 317. 609. 630. 767. 774. 837.
Umpfenbach 824. 843.
Unger 805. 841. 944. 959.
Unterweger 172. 177.
Upham 939. 943. 957. 958.
v. Urbanitzky 135. 145. 146. 148. 152. 153. 160. 161. 162.
Urbas 932. 956.
Urdaneta 359. 494.
Ure 64. 87.
Usteri 76.
Uzielli 567. 586.
Uziglio 433. 438. 685.

Vadian 913.
Valentin 152.
Vallisnieri 676. 692. 798.
Vallot 753. 766.
v. Valvasor 932. 956.
Vancouver 506.
Vanhöffen 760. 761.
Varenius 8. 44. 199. 375. 376. 377. 382. 392. 393. 398. 416. 470. 488. 494. 513. 518. 519. 527. 528. 531. 632. 641. 656. 657. 782. 793. 812. 838. 839. 842.
Varese 165.
Vargas Bedemar 320. 342.
Varro 72.
Vaucher 458. 460. 487.
Velten 12. 45.
Veltmann 579. 587.
St. Venant 442. 486.
Venetz 321. 343. 736. 747. 753. 766. 892. 936. 937. 951. 957.
Ventosa 95. 131.
Venturi 124. 133. 134.
Verbeek 112. 113.
Vergilius 2.
Verrazzano 552.
Verver 17.
Vespucci 391.
Vetter 648.
Vettin 194. 202. 203. 228. 241. 242. 491.
Viallon 488. 802. 841.
Viault 370. 371. 374.
Vidi 57. 86.
Vigan 465. 488.
Vince 118. 133.
Vincent 32. 46. 252. 290.
Viñes 220. 243.
Violle 262. 264. 265. 279. 291. 293. 860.
Virchow 366. 374. 573. 587. 682. 784. 838.
Virgilius (Bischof) 2.
Virlet d'Aoust 453. 487. 901. 952.
Viscovich 5. 44. 361.
Vitruvius 73. 88. 694. 793. 794. 839.
v. Vivenot 20.
Viviani 49. 55.
Völcker 260. 291.
Vogel (A.) 785. 838.
Vogel (Ch.) 940. 942. 958.
Vogel (E.) 95.
Vogel (Fr.) 234.
Vogel (H. C.) 104. 132. 264. 291. 386. 394.
Vogel (H. W.) 776. 837.
Vogel (K. A.) 234. 245.

Vogel (P.) 84. 89. 208. 242. 315. 318. 721. 762. 763. 767.
Vogelsang 27. 46.
Voges 438.
Vogler 54. 64. 82. 87. 88.
Vogt (C.) 89. 133. 242. 258. 290. 344. 585. 609. 624. 631. 661. 668. 691. 761. 764. 765. 767. 808. 839. 841. 956.
Vogt (H.) 126. 134.
Voigt 346. 360.
Voit 363. 373.
Volger 668. 692. 716. 722. 763. 794. 839. 840. 936. 957.
Volkens 928. 956.
Volkmann 152.
Voll 553. 557.
Volland 373. 374.
Volney 321. 323. 343.
Volta 13. 135. 137. 146. 154. 155. 160. 162. 232. 233. 245. 556.
Voltaire 676.
Volz 923. 955.
Vossius (G.) 131.
Vossius (J.) 376. 392. 494. 513. 518. 527. 529. 530. 531. 793. 831. 835. 839. 844. 845.
Vouillot 929. 956.

Waagen 944. 959.
Wachlowsky 233. 245.
Wadsworth 878. 949.
Waeber 750. 766.
Wähner 228. 234. 244. 245. 906. 953.
Wagner (A.) 692.
Wagner (C.) 240.
Wagner (E.) 170. 177.
Wagner (H.) 6. 376. 380. 381. 393. 407. 408. 417. 597. 629. 709. 710. 714. 780. 838.
Wagner (M.) 198. 303. 314. 317. 318.
Wagner (P.) 716. 763.
Wahlenberg 4. 284. 293. 719. 763. 795. 840.
Wahnschaffe 939. 942. 943. 957. 958.
Waitz 135. 160. 162.
Waiz 527. 531.
Walcher 724. 764.
Walchner 918. 954.
Waldo 5. 44. 245. 528.
Walferdin 420. 437.
Wall 143. 688.
Wallace 332. 336. 344. 633. 635. 636. 638. 656. 657. 855. 861. 919. 947. 948. 955.
Wallentin 161. 243. 245.
Wallerius 459. 487. 669. 692.
Wallich 413.
Wallis 470. 488.
Wallmann 384. 393. 777. 838.
Walser 945. 959.
Waltenberger 133. 700. 713.
Walter 273. 292. 416. 488.
Walther (B.) 91.
Walther (J.) 88. 376. 393. 413. 417. 510. 523. 530. 531. 537. 556. 596. 597. 600. 629. 641. 643. 644. 645. 655. 657. 658. 677. 678. 681. 693. 863. 876. 886. 890. 891. 928. 948. 949. 950. 951. 956.
Wand 136. 160.
Wangerin 100. 132.
Wappaeus 494. 506. 508. 528. 529. 530.
Warburg 13. 45.
Ward 952.
Wargentin 249. 289. 320. 342.
Warming 928.
Warren 422.
Wartmann 146. 161.
Waser 484. 490.
Waters 253. 290.
Watson 143.
Webb 122. 134.
Weber (Beda) 886. 950.
Weber v. Ebenhof 835. 843. 845.
Weber (C. A.) 953. 958. 959.
Weber (C. W.) 544. 557.
Weber (E. H.) 371. 440. 444. 447. 454. 456. 486. 487.
Weber (H.) 532. 533. 549. 556. 557. 764. 807. 841.
Weber (H. F.) 266. 292.
Weber (J.) 149. 161. 346. 360. 542. 556.
Weber (L.) 42. 43. 47. 98. 131. 132. 141. 151. 160. 162. 419. 437.
Weber (W.) 371. 440. 444. 447. 454. 456. 486. 487.
Webster 438.
Wedell 554.
Weed 799. 800. 840.
Wegener 854. 947.
Wegleiter 175.
Wehrli 944.
Wehrs 346. 360.
Weidemüller 592. 628.
Weidler 134.
Weigelt 611. 630.
Weihrauch 23. 31. 46. 82. 89.
Weilbach 31. 46.
Weilenmann 68. 172. 254. 290.
Weinberg 147. 695. 712.
Weinhold 533. 556.
Weinland 620. 631.
Weinstein 160.
Weis 785. 838.
Weisbach 820. 843.
Weiss (A.) 607. 629.
Weiss (J. F.) 936. 957.
Weitbrecht 817. 842.
Weitmann 773.
Wellmann 104. 132. 811. 842.
Wells 24. 25. 46. 75. 266.
Welter 762. 767.
Wenchop 420.
Wermbter 851. 947.
Werner (A. G.) 661. 664. 665. 667. 671. 675. 684. 691. 694. 703.
Werner (J.) 3.
Werner (K.) 469. 488.
v. Werra 840.

Wertheim 489. 765.
v. Werveke 688. 694.
v. Westenrieder 459. 487. 784. 838.
Westhoff 800. 840.
Wetsch 816. 842.
Wettstein 156. 162. 208. 242. 769. 836. 864. 942. 948. 958.
Weule 413. 417. 481. 489. 610. 613. 630. 672. 692.
Wex 580. 587.
Wey 912. 951. 953.
Weyer 91. 95. 96. 131. 471. 489.
Weyher 222. 233. 243.
Weyprecht 427. 438. 534. 540. 545. 547. 548. 549. 556. 557.
Wharton 404. 406. 465. 646. 658.
Wheatstone 102. 132.
Wheeler 465. 588. 623. 631. 926.
Whewell 456. 471. 472. 479. 487. 489. 660. 691.
Whipple 77. 160. 174. 422.
Whiston 664. 691.
White 397. 416.
Whitehurst 663. 691.
Whitney 127. 320. 323. 342. 343. 345.
Whymper 317. 371. 374. 760.
Wichmann 43. 152. 153. 162.
Wickart 952.
Wickede 402.
Widmann 293. 370. 374. 766. 902. 952.
Wiebe 50. 85. 86.
v. Wiebeking 817. 818. 820. 842. 843.
Wiebel (F.) 805.
Wiebel (K. M. W.) 597. 599. 600. 629. 805. 806. 841.
Wiechert 82. 89. 478. 489.
Wiedemann (C.) 134.
Wiedemann (E.) 157. 162. 530. 531.
Wiedemann (G.) 374. 394. 811. 842.
Wiedemann 285. 293.
Wiegmann 347. 360.
Wiemann 763.
Wiener (C.) 269. 292. 337. 344. 575. 587.
Wiener (O.) 117. 133.
Wierzbicky 170. 177.
Wieseler 506. 529.
Wieser 378. 393.
Wiesner 252. 290.
Wigert 243.
Wilczek (Graf) 573. 587.
Wild (F. S.) 685. 694.
Wild (H.) 6. 23. 46. 51. 53. 56. 69. 73. 80. 85. 86. 87. 88. 97. 131. 209. 242. 249. 251. 252. 256. 274. 289. 312. 318. 388.
Wild (J. J.) 376. 393. 404. 417. 424. 426. 438. 508. 530. 738.
Wild (aus Müllheim) 63. 87.
Wilhelm von Conches 469.
Wilk 5. 44.
Wilkes 236. 428. 446. 486. 629.
Willemer 826. 844.
Williams 491. 528.
Williamson 320. 321. 323. 342.
Willis 862. 871. 948.
Willkomm 20. 45.
Wilson 606. 629.
Wimmenauer 123. 134.
Wimmer 586. 624. 631. 945. 959.
Winchell 273. 292. 864. 948.
Winkelmann 13. 45. 358. 361.
Winkler 143. 161. 807. 841.
v. Winterfeld 130. 135.
Wisotzki 325. 343. 376. 377. 378. 379. 382. 392. 393. 395. 415. 416. 418. 432. 438. 505. 513. 526. 527. 528. 529. 530. 531. 553. 557. 563. 585. 771. 792. 793. 794. 814. 817. 823. 826. 836. 839. 842. 843. 844.
Witelo (Vitellion) 8. 44. 91. 133.
Witte 517. 518. 525. 530. 531.
Wittmann 349. 360.
Wittrock 761.
Wittwer 220. 243.
Woeikow 70. 181. 239. 246. 253. 254. 265. 275. 281. 282. 284. 285. 287. 289. 290. 292. 293. 294. 305. 306. 309. 311. 315. 317. 318. 328. 330. 332. 333. 336. 340. 341. 343. 344. 345. 542. 556. 771. 774. 823. 827. 836. 837. 926. 955.
Wöhler 588.
Wohltmann 875. 949.
Wohlwill 48. 85.
Woldřich 682. 693.
v. Wolf (C.) 49. 66. 73. 85. 87. 88.
Wolf (E.) 782. 838.
Wolf (J.) 393. 403. 421. 424. 438. 476. 505. 529.
Wolf (R.) 25. 46. 61. 81. 85. 86. 87. 88. 89. 108. 131. 132. 133. 143. 161. 172. 173. 174. 239. 324. 331. 343. 416. 486. 487. 489. 551. 666. 677. 691. 692. 693. 724. 763. 764. 765. 766. 954. 959.
Wolf (Th.) 314. 318. 507. 530. 575. 636. 657.
Wolfers 86. 245. 486. 488. 531.
Wolfert 550. 557.
Wolffhügel 75. 239. 245.
Wolkenhauer 374. 395. 416.
Wollaston 64. 117. 133.
Wollny 25. 46. 252. 253. 267. 268. 272. 290. 292. 790. 794. 833. 839. 845. 875. 884. 949. 950.
Wolpert 362.
Wolseley 450.
Woltmann 116. 819. 843.
Wondrak 184. 832. 844.
Wood 2. 43. 388.
Woodward 184. 577. 583. 587. 588. 663. 691. 724.
Worm 19. 45.
Wouvermans 46.
v. Wrangel 173. 212. 243. 502. 529. 548. 557. 716. 758. 763.
Wrede 579. 587. 936. 957.
Wülfer 632. 633. 656.
v. Wüllerstorff-Urbair 403.
Würth 951.

Wulzinger 343.
Wurffbein 229. 244.
Wurmbrand 901. 952.
Wurster 156. 162.
van der Wyk 485. 490. 623. 631.
Wynne 595. 629.

Xanthus 559.
Ximenez 819. 843.

Yeats 480.
v. Yelin 148. 161.
Yersin 365. 373.
Young 124. 125. 456. 476. 489.
Yule 528.

v. Zach 831. 844.
Zacharias 777. 838.
Zallinger zum Thurn 835. 845.
Zamboni 67.
Zambra 421. 437.
Zantedeschi 25. 103.
Zay 951.
v. Zech 109. 133. 587. 942. 958.
Zehden 316.
Zehnder 156. 162.
Zeidler 346. 360.
Zeiss 50. 430.
Zendrini (A.) 586. 818. 842.
Zendrini (B.) 565. 586.
Zenger 151. 162. 169. 174. 176. 178.
Zenker 35. 47. 111. 133. 263. 271. 276. 277. 291. 292. 293. 313. 332. 341. 929. 956.
Zeno (Gebrüder) 632.
Zeppelin (Graf) 43. 47. 459. 474. 487. 488.
Zernikow 73. 88.
Zeune 395. 567. 586.
v. Zichy 317.
Ziegler (H.) 131.
Ziegler (J.) 257. 259. 260. 261. 290. 291.
v. Ziemssen 791. 839.
Zillner 898. 951.
Zimmerer 812. 838. 842. 886. 859.
Zimmermann (E. A. W.) 632. 656.
Zimmermann (J. C.) 699. 712.
Zimmermann (J. J.) 691.
Zimmermann (K. G.) 321. 343.
Zincken 685. 686. 688. 694.
Zirkel 669. 692. 807. 841.
v. Zittel 17. 153. 413. 661. 664. 667. 675. 676. 677. 682. 689. 691. 692. 693. 694. 726. 736. 764. 765. 766. 808. 841. 856. 857. 861. 871. 890. 904. 905. 927. 928. 929. 930. 936. 938. 947. 948. 949. 951. 952. 953. 956. 957.
Zobrist 617. 618. 622. 630.
Zöckler 657. 660. 663. 664. 667. 691.
Zöppritz 38. 47. 65. 87. 310. 317. 336. 344. 414. 416. 418. 419. 425. 437. 451. 471. 479. 486. 489. 490. 491. 514. 519. 520. 521. 522. 523. 524. 530. 531. 539. 556. 576. 580. 583. 587. 588. 631. 743. 744. 766. 810. 842. 892. 893. 914. 951. 954.
Zollikofer 888. 951.
Zollinger 912. 953.
Zorgdrager 807.
Zschokke (der ältere) 100.
Zschokke (der jüngere) 343. 543. 544. 557.
Zuckermann 105. 132.
Zylius 21. 45.

Schlüssel für die Abkürzungen in den Citaten.

E. H. bedeutet Ergänzungsheft, E. B. bedeutet Ergänzungsband, L. B. bedeutet Litterarischer Bericht, L. H. A. bedeutet Litterarisch-Historische Abteilung, S. bedeutet Seite, Sp. bedeutet Spalte. — Im übrigen vgl. I. Band, S. 642.

A. — Ausland.
A. A. — Archiv für Anthropologie.
A. A. B., M. K. — Abhandlungen der Akademie zu Berlin, Math. Kl.
A. A. B., P. K. — Abhandlungen der Akademie zu Berlin, Phys. Kl.
A. A. D. S. — Aus dem Archiv der deutschen Seewarte.
A. A. M. — Abhandlungen der Akademie zu München.
A. A. N. C. C. — Akten der Nationalen Akademie der La Plata-Staaten.
A. A. O. H. C. — Annals of the Astronomical Observatorium of the Harward College.
A. A. P. — Amer. Acad. Proceedings.
A. A. S. G. N. — (Meissners) Annalen der Allgem. Schweiz. Naturforsch. Gesellschaft.
A. A. S. T. — Atti dell' Accademia delle Scienze di Torino.
A. A. T. P. — Acta Academiae Theodoricae Palatinae.
A. A. W. B. siehe A. A. B.
A. a. Wn. — Aus allen Weltteilen.
A. B. A., O. K. siehe A. A. B., O. K.
A. B. C. M. F. siehe A. B. M. F.
A. B. H. siehe K. A. B. H.
A. B. L. — Annuaire du Bureau des Longitudes.
A. B. M. F. — Annuaire du Bureau Central Météorologique de France.
A. B. S. G. H. — Abrégé du Bulletin de la Société Hongroise de Géographie.
A. Bz. — Allgemeine Bauzeitung.
A. Ch. siehe A. C. P.
A. Ch. Ph. siehe A. C. Ph.
A. C. M. siehe K. A. C. M.
A. C. P. — Annales de Chimie et de Physique.
A. C. Ph. — Annalen der Chemie und Pharmazie.
A. E. — Acta Eruditorum (Lipsiensia).
A. E. a. f. siehe A. F. a. s.
A. E. N. S. — Annales de l'Ecole Normale Supérieure.
A. E. P. — Allgemeine Encyklopädie der Physik.
Ae. R. — Aerztliche Rundschau.
A. Eth. — Archeology and Ethnology.
A. E. V. K. S. siehe B. A. E.
A. F. a. s. — Association Française pour l'avancement des sciences.
A. f. s. siehe A. F. A. S.
A. G. M. — Abhandlungen zur Geschichte der Mathematik (von Cantor).
A. H. — Acta Helvetica.
A. Hg. — Annalen für Hygiene.
A. H. m. M. — Annalen der Hydrographie und maritimen Meteorologie.
A. J. S. — American Journal of Science (Sillimans Journal).
A. J. Sc. A. siehe A. J. S.
A. K. L. — Allgemeene Konst- en Letterbode.
A. K. R. — Archiv für wissenschaftliche Kunde von Russland (von Erman).
A. L. D. V. siehe K. A. D. L. V.
A. L. G. M. — Archiv für die Landeskunde des Grossherzogtums Mecklenburg.
A. L. S. — Acta Litterarum Suecica.
A. L. V. siehe K. A. D. L. V.
A. L. V. P. S. — Archiv für Landes- und Volkskunde der Provinz Sachsen.
A. M. — Annales des Mines.
A. M. F. siehe A. B. M. F.
A. M. J. — American Meteorological Journal.
Am. N. — American Naturalist.
A. M. N. — Archif for Mathematik och Naturvidenskaberne.
A. M. Ne. siehe A. M. N.
A. M. P. — Archiv der Mathematik und Physik (von Grunert).
A. N. — Astronomische Nachrichten.
A. N. G. N. — Abhandlungen der Naturhistorischen Gesellschaft zu Nürnberg.

A. N. S. — Archives Néerlandaises des Sciences.
A. N. V. Br. — Abhandlungen des Naturwissenschaftlichen Vereines zu Bremen,
A. N. W. — Alte und Neue Welt.
A. P. B. — Abhandlungen einer Privatgesellschaft in Böhmen.
A. P. C. — Annalen der Physik und Chemie.
A. P. Chs. — Annales des Ponts et Chaussées.
A. Ph. — Annalen der Pharmazie.
A. p. M. J. — Abhandlungen des preussischen meteorologischen Instituts.
Aq. — Aquila (Ornithologische Zeitschrift).
A. R. A. L. — Atti della Reale Accademia dei Lincei.
A. r. a. M. — Archiv der reinen und angewandten Mathematik (von Hindenburg).
A. R. U. S. G. S. — Annual Report of the United States Geological Survey.
A. S. A. K. siehe A. S. A. W. K.
A. S. A. L. — Annales de la Société d'Agriculture de Lyon.
A. S. A. W. K. — Abhandlungen der Schwedischen Akademie der Wissenschaften, deutsch von Kaestner.
A. Sc. N. — Annales des Sciences Naturelles.
A. S. G. A. — Archiv für sächsische Geschichte und Altertumskunde.
A. S. G. B. — Annales de la Société Géologique de la Belgique.
A. S. G. V. K. — Abhandlungen der Schles. Ges. für vaterländische Kultur.
A. S. H. Sc. N. — Association de la Société Helvétique des Sciences (Neuchâtel).
A. S. J. s. N. — Annali della Società Italiana delle scienze naturali.
A. S. M. F. — Annuaire de la Société Météorologique de France.
A. s. n. siehe A. Sc. N.
A. s. p. n. — Archives des sciences physiques et naturelles.
A. s. s. F. — Acta societatis scientiarum Fennicae.
A. St. M. J. — Annuario delle Stazioni Meteorologiche Italiane.
At. — Athenaeum.
Ats. — Aëronautics.
A. U. Ch. — Annalen der Universität von Chile.
A. V. F. N. M. — Archiv des Vereins von Freunden der Naturgeschichte in Mecklenburg.
A. V. N. Kl. — Abhandlungen des Vereines für Naturkunde zu Kassel.

B. A. B. — Bulletin de l'Académie de Bruxelles.
B. A. E. — Berghaus' Annalen der Erd-, Völker- und Staatenkunde.
B. A. R. siehe R. B. A.
B. A. Z. — Beilage zur Allgemeinen Zeitung.
B. B. — Bullettino Boncompagni (della storia delle scienze matematiche e fisiche).
B. b. G. R. — Blätter für das bayerische Gymnasial- und Realschulwesen.
B. B. L. — Boston Biological Lectures.
Bb. M. Z. — Beiblatt zur Magdeburger Zeitung.
B. b. R. — Blätter für das bayerische Realschulwesen.
B. Br. — Bibliothèque Britannique.
B. B. V. L. — Berichte des Botanischen Vereines zu Landshut.
B. C. — Botanisches Centralblatt.
B. C. A. Sc. — Bulletin of the Californian Academy of Science.
B. C. G. siehe B. d. d. C. G.
B. C. G. Gl. P. — Boletin da Commissão Geographica e Geologica da Estado de S. Paulo.
B. C. G. I. — Bolletino della Commissione Geologica d'Italia.
B. D. C. G. siehe B. d. d. C. G.
B. d. d. C. G. — Berichte der deutschen Chemischen Gesellschaft.
B. d. E. — Bevölkerung der Erde (P. G. M., E. H.).
B. G. — Beiträge zur Geophysik (von Gerland).
B. G. I. U. — Bulletin of the Geological Institute of the University of Upsala.
B. g. K. Sch. — Begleitworte zur geologischen Karte der Schweiz.
B. Gl. S. A. — Bulletin of the Geological Society of America.
B. J. A. S. Kr. — Berichte der Akademie zu Krakau.
B. I. G. — Bayerisches Industrie- und Gewerbeblatt.
B. J. S. P. P. — (Englers) Botanische Jahrbücher für Systematik, Pflanzengeschichte und Pflanzengeographie.
Bl. C. — Biologisches Centralblatt.
B. L. V. R. — Beiträge zur Landeskunde von Vorpommern und Rügen (von R. Credner).
B. M. — Bibliotheca Mathematica (ed. Eneström).
B. M. (S. 995) siehe M. N. G. B.
B. M. C. Z. — Bulletin of the Museum of Comparative Zoology.
B. M. O. — Beiträge zur meteorologischen Optik (von Grunert).
B. m. O. siehe B. M. O.
B. m. St. B. — Beobachtungen der meteorologischen Stationen Bayerns.
B. N. — Bulletin de Neuchâtel.
B. O. G. N. H. — Berichte der Oberhessischen Gesellschaft für Natur- und Heilkunde.
B. p. m. P. — Bulletin physico-mathé-

matique de l'Académie de St. Pétersbourg.
B. P. S. W. — Bulletin of the Philosophical Society of Washington.
B. S. B. G. — Bulletin de la Société Belge de Géographie.
B. S. C. B. — Bulletin de la Société Commerciale de Bordeaux.
B. C. c. B. siehe B. S. C. B.
B. S. G. siehe B. S. G. F.
B. S. G. A. — Bulletin de la Société de Géographie d'Anvers.
B. S. G. C. B. — Bulletin de la Société de Géographie Commerciale de Brest.
B. S. G. C. H. — Bulletin de la Société de Géographie Commerciale de Havre.
B. S. G. F. — Bulletin de la Société de Géographie de France.
B. S. G. I. — Bollettino della Società Geografica Italiana.
B. S. Gl. I. — Bollettino della Società Geologica Italiana.
B. S. G. Ln. — Bulletin de la Société de Géographie de Lyon.
B. S. G. M. — Boletin de la Sociedad Geográfica de Madrid.
B. S. I. M. siehe B. S. I. N. M.
B. S. I. N. M. — Bulletin de la Société Impériale des Naturalistes de Moscou.
B. S. K. G. — Bulletin de la Société Khédiviale de Géographie.
B. Sl. — Breslauer Sammlungen (von Kanold).
B. S. N. F. — Berichte der Senckenb. Naturf. Gesellschaft zu Frankfurt a. M.
B. S. N. G. siehe B. S. N. F.
B. S. Sp. — Bulletin de la Société Spéléologique.
B. St. — Baltische Studien.
B. S. V. — Bulletin de la Société Vaudoise.
B. Tb. — Berliner Tageblatt.
B. U. — Bibliothèque Universelle de Genève.
B. U. d. ö. A. — Bericht über die wissenschaftlichen Untersuchungen d. deutsch-österreichischen Alpenvereines.
B. U. G. siehe B. U.
B. Un. siehe B. U.
B. U. S. G. S. — Bulletin of the United States Geological Survey of the Territories.
B. V. G. W. — Berichte des Vereines der Geographen Wiens.
B. V. O. G. W. — Bericht über die Verhandlungen des Oberrheinischen Geologen-Vereines.
B. W. U. M. — Berichte der wissenschaftlichen Kommission zur Untersuchung der deutschen Meere.

C. — Cosmos (von Cora).
C. A. P. — Commentarii Academiae Petropolitanae.
C. B. — Commentarii Societatis Scientiarum Bononiensis.
C. Bw. — Centralblatt für Bauwesen.
C. C. — Chemisches Centralblatt.
C. El. — Centralblatt für Elektrotechnik.
C. Gl. S. A. — Communications of the Geological Society of America.
C. G. S. R. — Coast and Geodetic Survey Report (U. S. of America).
Ch. N. — Chemical News.
Chz. — Chemikerzeitung.
C. I. R. — Centralorgan für die Interessen des Realschulwesens.
C. l. V. B. — Centralblatt der landwirtschaftlichen Vereine Bayerns.
C. R. — Comptes Rendus de l'Académie Française.
C. R. A. F. — Comptes Rendus de l'Association Française.
C. R. C. I. G. — Compte Rendu sur les séances du Congrès International de Géographie.
C. R. S. B. P. — Comptes Rendus de la Société de Biologie de Paris.
C. R. S. G. F. — Compte Rendu de la Société de Géographie de France.
C. R. S. G. P. — Compte Rendu de la Société de Géologie de Paris.
C. S. B. siehe C. B.
C. S. G. — Commentarii Societatis Gottingensis.
C. T. — Ciel et Terre.
C. V. S. F. — Christiania Vetenskaps-Selskabs-Forhandlinger.

D. A. — (Donders') Archiv für Naturkunde.
D. A. M. — Denkschriften der Akademie zu München.
D. A. S. G. siehe D. S. N. G.
D. A. W., M. N. — Denkschriften der Akademie zu Wien, Math.-Naturw. Klasse.
D. Bz. — Deutsche Bauzeitung.
D. Ei. — Die Eisenbahn.
D. G. B. siehe D. G. Bl.
D. G. Bl. — Deutsche Geographische Blätter.
D. K. — Deutsche Kolonialzeitung.
D. K. Z. — Deutsche Kolonialzeitung.
D. N. — Die Naturkräfte (München, Oldenbourgscher Verlag).
D. P. J. — Dinglers Polytechnisches Journal.
D. R. — Deutsche Rundschau.
D. R. G. St. — Deutsche Rundschau für Geographie und Statistik.
D. R. P. — Deutsches Reichs-Patentblatt.
D. S. N. G. — Denkschriften der Allgemeinen Schweiz. Naturforschenden Gesellschaft.
D. V. S. S. — Danske Vetenskaps Selskabs Skrifter.

E. A. — Écho des Alpes (Genève).
E. As. siehe E. A.
E, b. J. siehe B. J. S. P. P.
Ed. N. P. J. — Edinburgh New Philosophical Journal.
E. G. A. — Erlanger Gelehrte Anzeigen.
E. G. E. — Ersch und Grubers Encyklopädie.
E. Gl. H. — Eclogae Geologicae Helveticae.
E. N. P. J. siehe Ed. N. P. J.
E. P. J. — Edinburgh Philosophical Journal.
E. S. M. P. — Ephemerides Societatis Meteorologicae Palatinae.
E. Z. — Elektrotechnische Zeitschrift.

F. — Fennia.
F. A. — Forschungen auf dem Gebiete der Agrikulturphysik (von Wollny).
F. b. K. L. — Forschungen für bayerische Kultur- und Litteraturgeschichte.
Fd. Z. — Zeitschrift des Ferdinandeums (zu Innsbruck).
F. K. L. B. siehe F. b. K. L.
F. Ky. — Földtani Közlöny.
F. N. — Frorieps Notizen aus dem Gebiete der Natur- und Heilkunde.
Fn. siehe F.
F. N. N. H. siehe F. N.
F. N. St. Mg. — Falcks Neues Staatsbürgerliches Magazin.
F. N. Z. — Forstlich-Naturwissenschaftliche Zeitschrift.
Fr. K. — Fränkischer Kurier (Nürnberg).
F. Z. — Forstliche Zeitschrift.

G. — Gaea.
G. A. A. M. — Gelehrter Anzeiger der Akademie zu München.
G. A. E. L. siehe G. G. A. R.
G. A. P. — Gilberts Annalen der Physik.
G. E. — Geographische Ephemeriden (von Bertuch).
G. E. B. siehe G. E.
Ge. T. — Geografisk Tidsskrift (von Kopenhagen).
Gf. — Glückauf (Bergmännische Zeitschrift).
G. F. siehe G. F. F.
F. F. F. — Geol. Fören. Forhandlingar (Stockholm).
G. F. P. — Giornale de Fisica (di Padova).
G. F. S. F. siehe G. F. F.
G. G. A. — Göttinger Gelehrte Anzeigen.
G. G. A. R. — (Gerlands) Geographische Abhandlungen aus den Reichslanden.
G. G. N. — Göttinger Gelehrte Nachrichten.
G. J. — Geographical Journal.
G. Jl. siehe G. J.
G. I. L. — Giornale dell' Istituto Lombardo.
Gl. — Globus.
Glb. — Gartenlaube.
Gl. F. F. St. siehe G. F. F.
Gl. M. — Geological Magazine.
G. M. siehe Gl. M.
G. N. J. P. — Grens Neues Journal für Physik.
G. p. t. — Giornale per tutti.
G. P. W. — Gehlers Physikalisches Wörterbuch (2. Auflage).
G. W. — (Würzburger) Gemeinnützige Wochenschrift.
G. Z. — Geographische Zeitschrift.

H. — Humboldt.
H. A. P. — Histoire de l'Académie de Paris.
H. E. — Himmel und Erde.
H. M. M. — Hannöversches Magazin.
H. S. — Publications of the Hakluyt Society.
Hz. — Harzzeitschrift.

I. — Isis (Dresdener Naturwissenschaftliche Zeitschrift).
I. A. M. — Illustrierte Aëronautische Mitteilungen.
J. A. O. S. — Journal of the Asiatic and Oriental Society.
J. A. S. B. — Journal of the Asiatic Society of Bengal.
I. At. — In Alto (Friulanische Alpine Zeitschrift).
Jb. — Jugendblätter (von Js. Braun).
J. C. M. A. — Jahrbuch der Centralanstalt für Meteorologie und Erdmagnetismus (zu Wien).
J. Ch. Sc. — Journal of the Chemical Society.
J. E. P. — Journal de l'École Polytechnique.
J. G. G. B. — Jahresbericht der Geographischen Gesellschaft zu Bern.
J. G. G. M. — Jahresbericht der Geographischen Gesellschaft zu München.
J. Gl. — Journal de Géologie (von Rozet und Boué).
J. G. R. — Jahrbuch der Geologischen Reichsanstalt (zu Wien).
J. G. S. — Journal of the Geographical Society.
J. G. W. — Journal für Gasbeleuchtung und Wasserversorgung.
J. Lt. — Jenaer Litteraturzeitung.
J. M. G. — Jahrbuch für Münchener Geschichte.
J. m. p. a. — Journal des mathématiques pures et appliquées.
J. M. S. G. — Journal of the Manchester Geographical Society.
I. N. C. — Il Nuovo Cimento.
J. N. M. K. — Jahrbuch des naturwissenschaftlichen Museums von Kärnten.
J. N. P. — Journal of Natural Philosophy (ed. Nicholson).
J. N. V. N. — Jahresbericht des Nassauischen Vereines für Naturkunde.

J. N. V. Nk. siehe J. N. V. N.
I. P. — Il Politecnico.
J. p. C. — Journal für praktische Chemie.
J. p. G. — Journal für praktische Geologie.
J. p. G. L. — Jahrbuch der preussischen Geologischen Landesanstalt.
J. p. G. Z. — Jahresbericht der physikalischen Gesellschaft zu Zürich.
J. Ph. — Journal de Physique.
J. r. a. M. — Journal für die reine und angewandte Mathematik.
J. R. A. S. — Journal of the Royal Asiatic Society.
J. R. G. S. — Journal of the Royal Geographical Society.
J. S. A. — Jahrbuch des Schweizerischen Alpenklubs.
J. s. A. siehe J. S. A.
J. S. M. S. — Journal of the Scotish Meteorol. Society.
J. U. K. V. — Jahrbuch des Ungarischen Karpathen Vereines.
J. V. E. D. — Jahresbericht des Vereines für Erdkunde zu Dresden.
J. V. E. Mz. — Jahresbericht des Vereines für Erdkunde zu Metz.
J. V. G. St. F. — Jahresbericht des Vereines für Geographie und Statistik zu Frankfurt a. M.
J. V. G. W. siehe B. V. G. W.
J. V. N. W. — Jahreshefte des Vereines für Naturkunde in Württemberg.
I. w. B. — Internationale wissenschaftliche Bibliothek (Brockhausscher Verlag).
J. Z. N. — Jenaische Zeitschrift für Naturwissenschaft.

K. — Kosmos.
K. A. siehe K. A. C. M.
K. A. B. H. — Karstens Archiv für Berg- und Hüttenbaukunde.
K. A. C. M. — Kastners Archiv für Chemie und Meteorologie.
K. A. D. L. V. — (Kirchhoffs) Anleitung zu Forschungen über Landes- und Volkskunde.
K. A. N. — (Kastners) Archiv für die gesamte Naturlehre.
K. B. F. — Kritische Blätter für Forstwissenschaft.
K. B. S. siehe B. Sl.
K. G. A. E. U. — Korrespondenzblatt der Gesellschaft für Anthropologie, Ethnologie und Urgeschichte.
K. G. R. W. — Korrespondenzblatt für die Gelehrten- und Realschulen Württembergs.
K. g. W. — Kölner gemeinnütziges Wochenblatt.
K. J. — Kleins Jahrbuch der Astronomie und Geophysik.
Km. siehe K.
Kn. Z. — Kölnische Zeitung.
K. O. O. — Kepleri Opera Omnia (ed. Frisch).
K. R. M. — (Kupffers Repertorium für Meteorologie.
K. S. A. V. H. — Kongl. Svenska Akad. Ventensk. Handlingar.
K. z. m. V. R. — Korrespondenzblatt des zool.-miner. Vereines zu Regensburg.

L. A. — L'Astronomie (von Flammarion).
L. E. — Lumière Électrique.
L. Ea. — L'Elettricità.
L. G. — Le Globe.
L. I. — L'Instisut.
L. J. T. — Landwirtschaftliche Jahrbücher (von Tiel).
L. I. Z. — Leipziger Illustrierte Zeitung.
L. M. M. N. Oe. — Leipziger Magazin für Mathematik, Naturkunde und Oekonomie.
L. M. T. — v. Leonhards Mineralogisches Taschenbuch.
Lp. — Leopoldina.
L. P. B. — Lausitzer Provinzial-Blätter.
L. P. P. — La Plata-Presse.

M. — Mondes.
M. A. — Mathematische Annalen.
M. A. A. S. A. — Memoirs of the American Academy of Sciences.
M. Aa. N. G. — Mitteilungen der Aargauischen Naturforschenden Gesellschaft.
M. A. B. — Mémoires de l'Académie de Berlin.
M. A. G. W. — Mitteilungen der Anthropologischen Gesellschaft zu Wien.
M. A. L. — Mémoires de l'Académie de Lyon.
M. A. P. — Mémoires de l'Académie de St. Pétersbourg.
M. A. S. B. siehe M. B.
M. A. S. P. siehe M. A. P.
M. A. T. — Mémoires de l'Académie de Turin.
M. B. A. J. P. — Mélanges tirés du Bulletin de l'Académie des Sciences de St. Pétersbourg.
M. B. — Mémoires de la Société de Bordeaux.
M. Br. siehe S. A. B.
M. B. St. — Minnesota Botanical Studies.
M. B. U. siehe M. N. B. U.
M. C. A. B. — Memorie dell' Accademia delle Scienze di Bologna.
M. c. A. B. — Mémoires couronnés par l'Académie de Bruxelles.
M. C. A. N. C. — Miscellanea Caes. (Leop. Carol.) Acad. Naturae Curiosorum.
M. Ch. — Mémoires de la Société de Cherbourg.
M. d. ö. A. — Mitteilungen des deutsch-österreichischen Alpenvereines.

M. D. S. — Mitteilungen aus den deutschen Schutzgebieten.
M. d. S. siehe M. D. S.
M. E. — Mutter Erde.
M. f. N. Ph. — Magazin für das Neueste aus der Physik.
M. f. V. Oe. — Mitteilungen der forstlichen Versuchsstationen Oesterreichs.
M G. — Meddedelser af Groenland.
M. G. A. siehe G. A. A. M.
M. G. G. H. — Mitteilungen der Geographischen Gesellschaft zu Hamburg.
M. G. G. J. — Mitteilungen der Geographischen Gesellschaft zu Jena.
M. G. G. Jn. siehe M. G. G. J.
M. G. G. W. — Mitteilungen der Geographischen Gesellschaft zu Wien.
M. Mgl. S. J. — Memoirs of the Geological Society of India.
M. G. N. F. B. — Magazin der Gesellschaft Naturforschender Freunde zu Berlin.
M. G. N. H. siehe S. N. N. G. H.
M. G. N. V. O. — Mitteilungen der Gesellschaft für Natur- und Völkerkunde Ostasiens.
M. G. S. siehe M. G. S. L.
M. G. S L. — Mitteilungen der Gesellschaft für Salzburger Landeskunde.
M. G. St. — Münchener Geographische Studien.
M. G. th. E. — Mitteilungen für theoretische Erdkunde (von Froebel und Heer).
M. J. L. — Memorie dell' Istituto Lombardo.
M. I. N. I., F. M. — Memorie dell' Istituto Naz. Italiano, Cl. Fis.-Matem.
M. J. U. G. A. — Mitteilungen aus dem Jahrb. der Ungar. Geolog. Anstalt.
M. K. E. H. — Monatliche Korrespondenz zur Beförderung der Erd- und Himmelskunde.
M. M. C. Z. — Memoirs of the Museum of Comparative Zoology.
M. m. G. H. — Mitteilungen der mathematischen Gesellschaft zu Hamburg.
M. M. J. U. K. — Mitteilungen aus dem Mineralog. Institut der Universität Kiel.
M. M. M. — Monthly Meteorological Magazine.
M. M. S. — Memoirs of the Manchester Society.
M. m. W. — Münchener medizinische Wochenschrift.
M. N. A. S. — Monthly Notices of the Royal Astronomical Society.
M. N. B. U. — Mathematisch-Naturwissenschaftliche Berichte aus Ungarn.
M. N. G. B. — Mitteilungen der Naturforschenden Gesellschaft zu Bern.
M. N. M. W. — Mathematisch-Naturwissenschaftl. Mitteilungen aus Württemberg.
M. N. N. — Münchener Neueste Nachrichten.
M. N. V. St. — Mitteilungen des Naturwissenschaftlichen Vereines der Steiermark.
M. O. G. K. G. — Mitteilungen der Ostschweiz. Geogr. - Kommerz - Gesellschaft.
Mol. U. — (Moleschotts) Untersuchungen zur Naturlehre des Menschen und der Tiere.
M. O. S. — Magazin für Oryktognosie von Sachsen (von Freiesleben).
M. P. — Mémoires de l'Académie des Sciences de Paris.
M. P. A. — Mémoires de Physique d'Arcueil.
M. P. I. C. E. — Min. Proceedings of the Institute of Civil Engineers.
M. P. M. — Mineralogisch-Petrographische Mitteilungen (von Tschermak).
M. p. C. B. A. P. siehe M. p. c. B.
M. p. P. — Mélanges phys. et chim. de l'Académie de St. Pétersbourg.
M. p. d. s. — Mémoires présentés à l'Académie par divers savants.
Mr. M. — Messenger of Mathematics.
Ms. siehe M.
M. Sb. — Morskoj Sbornik.
M. S. E. — Mémoires des Savants Étrangers.
M. S. E. J. — Mémoires de la Société d'Emulation du Jura.
M. S. H. Oe. T. K. — Mitteilungen der Sektion für Höhlenkunde der österreichischen Touristenklubs.
M. S. J. S. N. — Mémoires de la Société Impériale des Naturalistes de Moscou.
M. S. N. Oe. T. K. — Mitteilungen der Sektion für Naturkunde des österreichischen Touristenklubs.
M. T. siehe M. A. T.
M. V. E. H. — Mitteilungen des Vereines für Erdkunde zu Halle a. d. S.
M. V. E. L. — Mitteilungen des Vereines für Erdkunde zu Leipzig.
M. V. G. E. B. — Monatliche Berichte über die Verhandlungen der Gesellschaft für Erdkunde zu Berlin.
M. V. Gt. — Mitteilungen der Vorderasiatischen Gesellschaft.
M. U. S. G. S. — Memoirs of the United States Geological Survey.
M. W. C. W. — Monatsberichte des Wissenschaftlichen Clubs zu Wien.
M. W. V. S. U. — Mitteilungen des Wissenschaftlichen Vereines zu Schneeberg u. U.
M. Z. — Meteorologische Zeitschrift.

N. — Nature.
N. A. L. C. A. siehe N. A. L. K. A.
N. A. L. K. A. — Nova Acta der Leopoldinisch-Karolinischen Akademie.

N. A. S. U. — Nova Acta Societatis Upsaliensis.
N. C. A. P. — Novi Commentarii Academiae Petropolitanae.
N. D. A. S. G. — Neue Denkschriften der Allgemeinen Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft.
Nfr. — Naturforscher.
N. D. S. G. N. — Neue Denkschriften der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft.
N. G. — Nachrichten über Geophysik.
N. Gr. M. — National Geographical Magazine.
N. G. W. G. siehe G. G. N.
N. J. M. G. P. — Neues Jahrbuch für Mineralogie, Geologie und Paläontologie.
N. M. E. siehe N. S. K. M. E.
N. M. G. — Nederl. Meteorolog. Jahrboek.
N. M. G. (S. 530). — Notizblatt der Malakozoologischen Gesellschaft.
N. Mg. — New Magazine.
N. M. N. — Nyt Magazin for Naturvidenskaberne.
Nn. — Nation.
N. N. G. Z. siehe Z. Nb.
N. O. — Natur und Offenbarung.
N. O. A. L. — Neue Oberdeutsche Allgemeine Litteraturzeitung.
N. p. A. A. M. — Neue physikalische Abhandlungen der Akademie zu München.
N. R. — Naturwissenschaftliche Rundschau.
Nr. — Natur.
N. S. G. N. F. B. — Neue Schriften des Vereines Naturforschender Freunde zu Berlin.
N. S. K. M. E. — Neudrucke von Schriften und Karten der Meteorologie und des Erdmagnetismus (ed. Hellmann).
Ntr. — Natur.
Ntrn. — Naturen (Norw. Zeitschrift).
N. V. E. D. — Notizblatt des Vereins für Erdkunde zu Darmstadt.
N. W. — Naturwissenschaftliche Wochenschrift.
N. Z. — Neue Zeit.

O. D. V. S. F. — Oversigt over det kongl. Danske Videnskabernes Selskabs Forhandlinger.
Oe. l. W. — Oesterreichische landwirtschaftliche Wochenschrift.
Oe. T. — Der österreichische Tourist.
Oe. R. — Oesterreichische Revue.
O. I. — Okens Isis.
Ost. M. — Mitteilungen aus dem Osterlande.

Pa. — Palaeontographica.
P. A. A. — Proceedings of the American Academy of Science.
P. A. A. A. Sc. siehe P. A. A.
P. A. O. P. — Publikationen des Astrophysikalischen Observatoriums zu Potsdam.
P. Ab. — Paläontologische Abhandlungen.
P. B. J. — (Pringsheims) Botanische Jahrbücher.
P. B. S. N. H. — Proceedings of the Boston Society of Natural History.
P. C. — Polytechnisches Centralblatt.
Pch. .— Pollichia.
P. E. S. — Proceedings of the Edinburgh Society.
P. G. A. — (Pencks) Geographische Abhandlungen.
P. G. M. — (Petermanns) Geographische Mitteilungen.
P. G. S. E. — Proceedings of the Geographical Society of Edinburgh.
P. G. S. L. — Proceedings of the Geographic Society of London.
Ph. R. — Physical Review.
P. I. Eg. — Proceedings of the Institute of Engineers.
P. L. Gl. S. — Proceedings of the London Geological Society.
P. M. — Philosophical Magazine.
P. N. V. S. H. — Papers from the Physical Geography Laboratory of Harward College.
P. P. S. Gl. — Proceedings of the Philosophical Society of Glasgow.
P. P. S. L. — Proceedings of the Philosophical Society of London,
Pr. — Prometheus.
Pr. C. A. — Proceedings of the Californian Academy.
Pr. L. M. S. — Proceedings of the London Mathematical Society.
P. R. S. — Proceedings of the Royal Society of London.
P. R. S. E. — Proceedings of the Royal Society of Edinburgh.
P. S. siehe P. R. S.
P. S. E. siehe P. R. S. E.
P. S. N. H. B. — Proceedings of the Society of Natural History of Boston.
P. T. — Philosophical Transactions of the Royal Society.
P. Wt. — Philologische Wochenschrift.

Q. J. G. S. — Quarterly Journal of the Geological Society.
Q. J. M. S. — Quarterly Journal of the Meteorological Society.
Q. J. S. — Quarterly Journal of Science.

R. Ar. Revue Archéologique.
R. A. S. N. — Rendiconti dell' Accademia delle Scienze di Napoli.
R. B. A. — Report of the British Association of Sciences.

R. B. A. Tr. — Report of the British Association of Sciences, Transactions.
R. E. — Repertorium für Experimentalphysik.
R. F. — Festschrift zum Jubiläum Prof. v. Richthofens (1893).
R. Gf. — Rivista Geografica Italiana.
R. G. J. siehe R. Gf.
R. I. L. — Rendiconti dell' Istituto Lombardo.
R. M. — Repertorium für Meteorologie.
R. M. C. — Revue Maritime et Coloniale.
R. R. A. L. — Rendiconti della Reale Accademia dei Lincei.
R. R. I. L. — Rendiconti del Reale Istituto Lombardo.
R. S. siehe R. Sc.
R. Sc. — Revue Scientifique.
R. S. G. I. — Rendiconti della Società Geographica Italiana.
R. S. I. — Rendiconti della Società Italiana.
R. Ss. — Revue Suisse.

S. — Sirius.
S. A. A. — (Schumachers) Astronomische Abhandlungen.
S. A. B. — Sitzungsberichte der Akademie zu Berlin.
S. A. Gi. — Società Alpina delle Giulie.
S. A. M., M. P. — Sitzungsberichte der Akademie zu München (M. P. Kl.).
S. B. G. W. — Sitzungsberichte der k. böhmischen Gesellschaft der Wissenschaften.
S. b. G. W. siehe S. B. G. W.
S. B. S. V. — Schriften des Bodensee-Vereines.
Sc. — Science.
Sc. G. M. — Scotish Geographical Magazine.
Sch. B. M. Tr. — Schimpers Beiträge zur Pflanzenkunde der Tropenwelt.
Sch. R. — Schweizerische Rundschau.
Schw. R. siehe Sch. R.
S. G. P. siehe S. B. G. W.
S. J. siehe A. J. S. (Sillimans Journal).
S. J. P. — Schweiggers Journal für Physik.
S. N. G. D. — Schriften der Naturforschenden Gesellschaft zu Danzig.
S. N. G. N. H. — Sitzungsberichte der Niederrheinischen Gesellschaft für Natur- und Heilkunde.
S. N. V. S. H. — Schriften des Naturwissenschaftlichen Vereines für Schleswig-Holstein.
Sp. — Spelunca.
S. p. m. G. W. — Sitzungsberichte der physikalisch-medizinischen Gesellschaft zu Würzburg.
S. p. m. S. E. — Sitzungsberichte der physikalisch-medizinischen Sozietät zu Erlangen.
S. p. ö. G. K. — Schriften der physikalisch-ökonomischen Gesellschaft zu Königsberg.
S. S. G. — Séances de la Société de Géographie de France.
S. s. G. W., M. P. — Sitzungsberichte der k. sächsischen Gesellschaft der Wissenschaften, Math-Phys. Kl.
S. s. G. W., P. H. — Sitzungsberichte der k. sächsischen Gesellschaft der Wissenschaften, Phil.-Hist. Kl.
St. D. R. — Statistik des Deutschen Reiches.
S. T. R. Z. — Süddeutsche Touristen- und Radfahrerzeitung.
St. W. — Stein der Weisen.
S. V. A. H. — Svenska Vetenskaps Akad. Handlingar.
S. V. G. B. siehe S. B. S. V.
S. V. G. B. U. siehe S. B. S. V.
S. V. V. K. W. siehe S. V. V. n. K.
S. V. V. n. K. — Schriften des Vereines zur Verbreitung naturwissenschaftlicher Kenntnisse (zu Wien).

T. A. G. siehe T. Gl. S.
T. A. P. S. — Transactions of the Philosophical Society of Philadelphia.
T. A. P. S. P. siehe T. A. P. S.
T. B. siehe T. Bl.
T. Bl. — Technische Blätter.
T. C. — Transactions of the Cambridge Society.
T. C. S. siehe T. C.
T. d. M. — Tour du Monde.
T. E. S. — Transactions of the Royal Edinburgh Society.
T. Gl. S. — Transactions of the Geological Society.
T. G. S. siehe T. Gl. S.
T. G. S. A. A. — Transactions of the Geological Society of America.
T. G. S. G. siehe T. Gl. S.
Th. M. — Theologisch-praktische Monatsschrift.
T. L. J. — siehe L. J. T.
T. M. — (Neues) Teutsches Museum.
T. N. A. — Transactions of the Nautical Academy.
T. x. N. V. — Tageblatt der xten Naturforscherversammlung.
T. N. V., 18—. — Tageblatt der Naturforscherversammlung 18—.
T. N. Z. — Transactions of the New-Zealand Institute.
T. R. I. A. — Transactions of the Royal Irish Academy.
T. R. S. E. siehe T. S. E.
T. S. E. — Transactions of the Society of Edinburgh.

U. — Umschau (von Bechhold).
U. S. C. R. — United States Coast Report.

U. S. G. S. siehe U. S. C. G. S.
U. S. C. G. S. — United States Coast and Geodetic Survey.

V. A. G. — Vierteljahrsschrift der Astronomischen Gesellschaft.
V. B. G. An. — Verhandlungen der Berliner Gesellschaft für Anthropologie.
V. C. Ak. — Vestnik Česke Ak. (Mitt. d. Böhm. Akademie).
V. E. S. siehe T. S. E.
V. G. E. B. — Verhandlungen der Gesellschaft für Erdkunde zu Berlin.
V. G. R. — Verhandlungen der Geologischen Reichsanstalt (zu Wien).
V. x. G. T. — Verhandlungen des xten Geographentages.
V. K. C. S. N. siehe V. C. Ak.
V. M. H. — Verhandl. d. Maatschappij van Haárlem.
V. M. P. N. — Voigts Magazin für Physik und Naturkunde.
V. N. G. B. — Verhandlungen der Naturforschenden Gesellschaft zu Bern.
V. N. G. Bl. — Verhandlungen der Naturforschenden Gesellschaft zu Basel.
V. N. G. Z. — Verhandlungen der Naturforschenden Gesellschaft zu Zürich.
V. x. N. V. — Verhandlungen der xten Naturforscherversammlung.
V. N. V. K. — Verhandlungen des Naturwissenschaftlichen Vereines zu Karlsruhe.
V. ö. G. — Verhandlungen des Vereines für öffentliche Gesundheitspflege.
V. p. G. B. — Verhandlungen der physikalischen Gesellschaft zu Berlin.
V. p. m. G. W. siehe S. p. m. G. W.
V. S. d. ö. u. V. B. — Schriften des deutsch-österr.-ungar. Verbandes für Binnenschiffahrt.
V. S. F. C. — Vidensk.-Selsk-Forhandlinger i Christiania.
V. S. N. G. — Verhandlungen der Senckenbergschen Naturforschenden Gesellschaft.
V. w. P. — Vierteljahrsschrift für wissenschaftliche Philosophie.

W. — Wetter.
W. A. A. — Wiener Akademischer Anzeiger.
W. A. M. G. — Wochenschrift für Astronomie, Meteorologie und Geographie (von Heis).
W. B. L. Z. — Wissenschaftliche Beilage zur Lausitzer Zeitung.
W. E. Z. d. ö. A. — Wissenschaftliche Ergänzungshefte des deutsch-österreichischen Alpenvereines.
W. Fr. — Wiener Fremdenblatt.
W. G. J. — Wagners Geographisches Jahrbuch.
W. J. St. L. — Jahreshefte des Württ. Statistischen Landesamtes.
W. M. — Westermanns Monatshefte.
W. N. J. siehe J. V. N. W.
W. ö. A. I. V. — Wochenschrift des österreichischen Architekten- und Ingenieur-Vereines.
W. R. G. — Der Wanderer im Riesen-Gebirge.
W. St. M. — Wochenberichte der Sternwarte zu München.
W. V. V. E. L. — Wissenschaftliche Veröffentlichungen des Vereines für Erdkunde zu Leipzig.
W. W. — Wittenberger Wochenblatt.

Z. A. E. — Zeitschrift für allgemeine Erdkunde.
Z. A. v. W. — Zeitschrift für Astronomie und verwandte Wissenschaften.
Z. B. — Zeitschrift für Biologie.
Z. B. H. S. — Zeitschrift für Berg-, Hütten- und Salinenkunde.
Z. d. G. G. — Zeitschrift der deutschen Geologischen Gesellschaft.
Z. d. P. — Zeitschrift des deutschen Palästina-Vereines.
Z. d. P. (S. 657) — Zeitschrift für deutsche Philologie.
Z. E. siehe E. Z.
Z. Eth. — Zeitschrift für Ethnologie.
Z. F. J. — Zeitschrift für Forst- und Jagdwesen.
Z. G. E. B. — Zeitschrift der Gesellschaft für Erdkunde zu Berlin.
Z. g. N. — Zeitschrift für die gesamten Naturwissenschaften.
Z. Gw. — Zeitschrift für Gewässerkunde.
Z. I. — Zeitschrift für Instrumentenkunde.
Z. J. A. V. H. — Zeitschrift des Ingenieur- u. Architekten-Vereines (zu Hannover).
Z. J. S. — Zoologisches Jahrbuch (Abteil. für Systematik und Biologie).
Z. Kr. M. — Zeitschrift für Krystallographie und Mineralogie.
Z. L. P. A. — Zeitschrift für Luftschifffahrt und Physik der Atmosphäre.
Z. l. V. B. — Zeitschrift der landwirthschaftlichen Vereine von Bayern.
Z. m. n. U. — Zeitschrift für mathematischen und naturwissenschaftlichen Unterricht.
Z. M. P. — Zeitschrift für Mathematik und Physik (von Schloemilch-Cantor).
Z. N. b. — Neujahrsblatt von Zürich.
Z. ö. F. — (Zoellers) Oekonomische Fortschritte.
Z. ö. G. M. — Zeitschrift der österreichischen Gesellschaft für Meteorologie.
Z. ö. I. A. V. — Zeitschrift des österreichischen Ingenieur- und Architekten-Vereines.

Z. P. V. — Zeitschrift des Palästina-Vereines.
Z. p. G. — Zeitschrift für praktische Geologie.
Z. P. M. — Zeitschrift für Physik und Mathematik (von Baumgartner und v. Ettingshausen).
Z. p. U. — Zeitschrift für physikalischen Unterricht.
Z. R. — (Wiener) Zeitschrift für Realschulwesen.
Z. S. — Zeitschrift für Schulgeographie.
Z. V. d. I. — Zeitschrift des Vereines deutscher Ingenieure.
Z. w. G. — Zeitschrift für wissenschaftliche Geographie.
Z. w. Z. — Zeitschrift für wissenschaftliche Zoologie.

Addenda et Corrigenda.*)

S. 2, Z. 27 v. u. l. Abogard. — S. 4, Z. 8 v. o. l. XVII. Jahrhundert. — S. 5, Z. 21 v. u. ergänze bei den dort angeführten meteorologischen Lehrbüchern: A. Heller, Az Idöjárás, Budapest 1888; Angot, Traité de météorologie, Paris 1898. — S. 10, Z. 9. v. o. l. Rothlauf. — S. 10, Z. 24 v. u. e.: Ueber diese Persönlichkeit erteilt eingehende Auskunft Moennichs (Robert Boyle als Geophysiker, München 1899). — S. 16, Z. 26 v. o. e.: Im Anschlusse an die Entdeckung des Argons haben britische Forscher noch andere neue, schwer darstellbare Urstoffe (Metargon, Krypton und Neon) aufgefunden; (vgl. Ramsay Ueber die neu entdeckten Gase und ihre Beziehungen zum periodischen Gesetze, U., III, Nr. 5; Ueber einen neuen Bestandteil der atmosphärischen Luft, N. R., XIII, Nr. 27). — S. 23, Z. 17 v. u. l. H. Meyer. — S. 28, Z. 8 v. o. e.: Zusammenfassend behandelt diese Fragen Dicknether (Ueber Wolkenbeobachtung, Ansbach 1898). — S. 38, Z. 7 v. u. e.: Das Wort „Platzregen“ definiert Riggenbach (Ergebnisse siebenjähriger Niederschlagsbeobachtungen in Basel, Karlsruhe 1898) dahin, dass ein solcher Regen mindestens 5^m andauern und in 1^h mindestens 20 mm liefern muss. — S. 39, Z. 28 v. o. e.: Den neuesten Stand der Angelegenheit und Bombiccis angeblich verheissungsvolle Versuche skizziert Dessau (Die künstliche Beeinflussung des Wetters, Nn., XVI, Nr. 37). — S. 41, S. 12 v. o. e.: Einen charakteristischen Fall von „Eisregen“ beschreibt Meinardus (Der Eisregen vom 20. Oktober 1898 über Mittel- und Ostdeutschland, W., 1899, 2. Heft). — S. 44, Z. 21 v. o. l. Houzeau. — S. 44, Z. 24 v. u. l. ὀπτικῆς. — S. 46, Z. 25 v. o. l. Alford. — S. 47, Z. 26 v. o. l. Sc. statt S.; Z. 28 v. o. l. Clayden. — S. 77, Z. 21 v. o. l. Janssen. — S. 83, Z. 1 v. u. l. barometrischen. — S. 84, Z. 5 v. u. e.: Das moderne Ballonfahren beschreibt Heinke (Eine wissenschaftliche Ballonfahrt, B. A. Z., 1898, Nr. 260). — S. 86, Z. 30 v. o. l. K. statt R. — S. 103, Z. 19 v. o. e.: Neue Studien über atmosphärische Lichtpolarisation, welche auch die Forschungen von Hurion, Piltschikow und Rubeson mit berücksichtigen, lieferte Jensen (Beiträge zur Photometrie des Himmels, Kiel 1898). — S. 105, Z. 1 v. u. e.: Einen interessanten Fall von Deformation durch die Lufthülle (vgl. auch I, S. 142) lehrt uns kennen Prinz (Photographie du soleil couchant, Brüssel 1888). — S. 111, Z. 1 v. u. l. v. Danckelman. — S. 113, Z. 28 v. o. l. Stokesschen. — S. 116, Z. 22 v. u. l. Martins'. — S. 121, Z. 10 v. u. l. Bergman. — S. 131, Z. 17 v. u. l. 1749 statt 1826. — S. 132, Z. 5 v. o. l. M. A. T. statt M. T. — S. 133, Z. 16 v. o. l. Alluard. — S. 135, Z. 9 v. u. e.: Ueber neueste Fortschritte orientieren Trabert (Der Zusammenhang zwischen den Erscheinungen des Erdmagnetismus und den elektrischen Vorgängen in der Atmosphäre, M. Z., XV, S. 403 ff.); Elster-Geitel (Zusammenstellung der Ergebnisse neuerer Arbeiten über atmosphärische Elektrizität, N. R., XII, Nr. 28) und Rudolph (Die Bedeutung des Drachenballons für die Lösung der Fragen der atmosphärischen Elektrizität, J. A. M., 1898, S. 105 ff.). — S. 157, Z. 5 v. u. l. Fick. — S. 160, Z. 12 v. o. l. K. F. Jordan; Z. 30 v. o. l. A. P. C.; Z. 15 v. u. l. R. A. S. N. — S. 169, Z. 10 v. u. l. Lüdecke. — S. 175, Z. 14 v. u. l. F. statt J. — S. 176, Z. 19 v. o. l. 30 statt 80; Z. 20 v. o. l. J. statt O. — S. 187, Z. 20 v. u. e.: Aufs neue bearbeitete

*) e. bedeutet: ergänze; l. bedeutet: lies.

Hann den gleichen Gegenstand (Weitere Beiträge zu den Grundlagen für eine Lösung der Fragen der atmosphärischen Elektrizität, M. Z., XV, S. 361 ff. — S. 204, Z. 8 v. o. ist nach Montigny [215] zu streichen. — S. 210, Z. 20 v. o. e.: Ueberhaupt hat später Billwiller (Die verschiedenen Entstehungsarten und Erscheinungsformen des Föhns, M. Z., XVI, S. 204 ff.) alle diese Spezialitäten einheitlich aufzufassen gelehrt. — S. 235 ist zu ergänzen: Zur Lehre von den atmosphärischen Bewegungen im allgemeinen vgl. auch P. Schreiber (Vier Abhandlungen über Periodizität der Niederschläge, theoretische Meteorologie und Gewitterregen, Leipzig 1896) und Mack (Einige Beiträge zum Studium der Wirbelbildung in den Wolken, M. Z., XV, 8. Heft). — S. 241, Z. 27 v. u. l. Toynbee. — S. 245, Z. 24 v. o. l. Lecoq. — S. 256, Z. 14 v. u. e.: Einen guten Ueberblick über das Ganze der Phänologie gewährt auch Bos' 1896 zu Groningen veröffentlichte Monographie; fortlaufende genaue Berichte über phänologische Litteratur aus Ihnes Feder bringen die „Ber. d. Oberhess. Gesellsch. f. Natur- und Heilkunde". — S. 268, Z. 1 v. o. l. C. Lang. — S. 278. Z. 23 v. o. l. H. Koenig. — S. 279, Z. 16 v. o. e.: Weitere Aufschlüsse über Gebirgsklima, speziell auf isolierten Gipfeln, bieten zwei Abhandlungen von Klengel (Das Klima des Pic du Midi, A., LXVI, S. 369 ff., 388 ff., 406 ff., 438 ff., 455 ff.; Zum Klima des Fichtelgebirges, Berlin 1879; separat aus „Das Wetter"). — S. 283, Z. 23 v. o. e.: Den Unterschied, welchen geringe Höhenunterschiede auf gleichfalls geringem Areale in ombrometrischer Beziehung bedingen, studiert eine Dissertation von Lotz (Vergleichende Regenmessungen zu Marburg i. H., ebenda 1899). — S. 288, Z. 12 v. o. e.: Ueber den Einfluss der Baumkronen auf die Regenmessungen teilt Erfahrungen mit Ebermayer (München 1898; separat aus der „Forstl. Zeitschrift"). — S. 291, Z. 3 v. o. l. H. Hoffmann; Z. 19 v. o. l. B. J. S. P. P. — S. 292, Z. 11 v. o. l. Hartl; Z. 9. v. u. l. B. S. G. F. — S. 292, Z. 9 und 10 v. u. sind [263] und [265] zu vertauschen. — S. 293, Z. 7 v. o. l. [285] statt [289]. — S. 294, Z. 16 v. o. l. [383] statt [384]. — S. 294 Z. 17 v. o. l. J. Schubert. — S. 322, Z. 18 v. o. e.: Ueber erkennbare klimatische Aenderungen in neuerer Zeit wird man sich erst nach und nach ein Urteil bilden können auf Grund so genauer retrospektiver Zusammenstellungen, wie deren eine herrührt von Bamler (Strassburger Temperaturmittel, Barmen 1899), für welche 100 Jahre umfassende Aufzeichnungen Verwendung fanden. — S. 311, Z. 27 v. u. l. Oeyen statt Oyen. — S. 314, Z. 16 v. o. ist [202] zu streichen und [202] statt [203] zu setzen. — S. 314, Z. 11 v. u. l. Th. Wolf. — S. 318, Z. 30 v. o. ist [201] zu streichen. — S. 342, Z. 13 v. o. e.: Semper hat diesen Gedanken noch weiter ausgeführt (Das paläothermale Problem, Z. d. G. G., XLIX, S. 185 ff.). — S. 343, Z. 41 v. u. l. H. W. Dove. — S. 344, Z. 22 v. o. l. Frankland. — S. 369, Z. 24 v. u. e.: Ueber die Entwickelungsstadien der Malariaforschung im letzten Biennium verbreitet sich ein Artikel der N. R. (XIV, Nr. 31), worin die Theorien Cellis, Crassis, Bignamis, Bastianellis, Dionisis und R. Kochs, soweit des letzteren toskanische Studienreise in Betracht kommt, analysiert werden. Kochs Hypothese von der Uebertragung der Krankheitskeime durch Stechfliegen bespricht zustimmend Nutall im „Centralblatt für Bakterien- und Parasitenkunde", wogegen L. Martin, auf seine in Sumátra gesammelten Erfahrungen gestützt, seinen oppositionellen Standpunkt in der „Umschau" vertritt. — S. 370, Z. 13 v. u. e.: Während des Druckes dieses Buches erschien ein fundamentales Werk über alle einschlägigen Probleme von dem Turiner Physiologen Mosso (Leipzig 1899); Auszüge daraus bei Pfeifer (Der Mensch auf den Hochalpen, N. O., XXV, S. 361 ff.). — S. 374, Z. 11 v. o. l. Nn. statt Na. — S. 376, Z. 27 v. o. l. Rennell. — S. 382, Z. 4 v. o. e.: Den augenblicklichen Stand der Frage charakterisieren die Arbeiten Beythiens (Eine neue Bestimmung des Poles der Landhalbkugel, Kiel-Leipzig 1898), Krümmels (P. G. M., XLIV, 5. Heft) und Pencks (Die Pole der Landoberfläche, G. Z., V, S. 121 ff.). — S. 328, Z. 28 v. o. l. [85] statt [87]. — S. 387, Z. 19 v. u. e.: Die neueste litterarische Erscheinung auf diesem Gebiete ist ein Aufsatz von Abegg (Ueber die Farbe der Meere und Seen, N. R., XIII, Nr. 14. — S. 391, Z. 11 v. u. e.: Uebersichtlich berichtet über diese Dinge Maas (Die Aufgaben der Tiefseeforschung und die deutsche Tiefsee-Expedition, G. Z., III, 11. u. 12. Heft). — S. 392, Z. 9 v. u. l. Jilek. — S. 393, Z. 23 v. o. l. K. W. M. statt W. M. — S. 412, Z. 11 v. o. l. Doyle. — S. 416, Z. 30 v. u. l. F. Pfaff. — S. 416, Z. 20 v. u. l. Denham. — S. 419, Z. 3 v. o. e.: Von hoher Wichtigkeit für Physik und Chemie des Meeres sind die Untersuchungen von Luksch und Natterer im Roten Meere, zusammengefasst in dem stattlichen Quartbande (6. Reihe), den die k. u. k. Hof- und Staatsdruckerei in Wien (1898) publiziert hat. Natterer legte seine vielfach originellen Anschauungen auch in einer eigenen Abhandlung

nieder (Chemische und geologische Tiefseeforschung, G. Z., V, S. 190 ff.) — S. 428, Z. 12 v. u. l. E. Mayer. — S. 439, Z. 15 v. o. l. J. p. C. statt J. X. C. — S. 455, Z. 5 v. u. l. Oelbojen. — S. 477, Z. 3 v. o. e.: Die mathematische Theorie der Gezeiten entwickelt umfassend J. Lévy (Leçons sur la théorie des marées, professées au Collège de France, Paris 1898). — S. 486, Z. 18 v. o. l. G. H. L. Hagen. — S. 487, Z. 27 v. o. l. 1786. — S. 488, Z. 3 v. o. l. Guthrie; Z. 31 v. o. l. Z. a. E. statt Z. d. E. — S. 488, Z. 3 v. o. l. [194] statt [104]. — S. 489, Z. 26 v. o. l. H. W. Dove. — S. 511, Z. 4 v. u. l. 1884. — S. 513, Z. 4 v. o. e.: Nachzutragen ist eine inhaltsreiche Schrift von Cronander (On the Laws of Movement of Sea-Currents and Rivers, Norköping 1898). — S. 529, Z. 42 v. u. l. Leipoldt. — S. 529, Z. 31 v. o. l. Z. a. E. — S. 531, Z. 15 v. o. l. J. Newton. — S. 544, Z. 3 u. 4 v. o. l. Scoppewer [121], Strehlke [122], Mohr [123]. — S. 568, Z. 13 v. u. l. De Geer. — S. 569, Z. 14 v. o. l. Forssman. — S. 573, Z. 7 v. u. l. H. C. Russell. — S. 576, Z. 21 v. u. l. 565. — S. 577, Z. 18 v. o. l. 565. — S. 577, Z. 20 v. o. l. 563. — S. 577, Z. 29 v. o. l. 563. — S. 577, Z. 30 v. u. l. 563. — S. 577, Z. 27 v. u. l. 563. — S. 577, Z. 16 v. u. l. 564. — S. 578, Z. 19 v. u. l. 563. — S. 579, Z. 3 v. u. l. 563. — S. 579, Z. 1 v. u. l. Tylor. — S. 580, Z. 12 v. u. l. 564. — S. 581, Z. 19 v. o. l. 568. — S. 583, Z. 23 v. o. l. Mac-Fadzeane. — S. 584, Z. 15 v. o. l. 566. — S. 584, Z. 18 v. u. l. 576. — S. 586, Z. 19 v. u. l. N. J. M. G. P. — S. 587, Z. 21 v. o. l. Suess. — S. 528, Z. 28 v. o. l. Reiss. — S. 587, Z. 9 u. 12 sind [269] und [270] zu vertauschen. — S. 587, Z. 8 v. u. l. Tylor. — S. 590, Z. 17 u. 19 v. u. l. 565. — S. 590, Z. 11 v. u. l. 563. — S. 592, Z. 11 v. u. l. Philippson. — S. 610, Z. 23 v. o. e.: Zur Theorie der Flachküstenbildung sind noch amerikanische Arbeiten zu citieren; so von Davis (The Outline of Cape Cod, P. A. A. Sc., XXXI, S. 303 ff.; Plains of Marine and Subaërial Denudation, B. Gl. S. A., VII, S. 377 ff.), von Gulliver (Sorelline Topography, P. A. A. S., XXXIV, S. 131 ff.; Dungeness Foreland, G. J., Maiheft 1897) und von Tarr (Wave-formed Cusped Forelands, Am. Gl., XXII, Juliheft 1898). — S. 611, Z. 2 v. u. ist zu streichen [208]. — S. 611, Z. 1 v. u. l. 208. — S. 612, Z. 44 v. o. e.: [209] nach Blink. — S. 612, Z. 25 v. u. l. 591. — S. 620, Z. 29 v. u. l.: wo sie Goebel [303] und Schimper [304] studiert haben. — S. 625, Z. 10 v. u. l. 612. — S. 626, Z. 8 v. u. e.: Neuestens hat Cornish (On Kumatology, G. J., Juniheft 1899) die Theorie der Sandrippungen als Unterfall der Wellenlehre überhaupt aufgefasst. — S. 630, Z. 12 v. o. l. N. M. N. — S. 630, Z. 16 v. u. l. Senft. — S. 630, Z. 32 v. u. l. Z. Bw. — S. 630, Z. 27 v. u. l. Lenthéric. — S. 631, Z. 13 v. o. l. Nfr. statt Nr. — S. 641, Z. 15 v. o. e.: Zum Beweise dafür, dass sich auch bei vulkanischen Inseln Aufschüttung und massige Protrusion kombinieren können, citieren wir einige, einer der Liparischen Inseln geltende Sätze Bergeats (Die Aeolischen Inseln, München 1899, S. 64). „Der heutige Felsstock von Panaria bietet jedenfalls ein Beispiel für die Entstehung einheitlicher mächtiger Gesteinsmassen durch Ausbrüche solcher Vulkane, die zu Zeiten auch heftige Eruptionen lockeren Materiales erlebt haben. Ohne die auflagernden Reste dieses letzteren, welche mit der Zeit von der Oberfläche der Insel verschwinden werden, würde der Felsen schon jetzt als Ueberrest eines massigen Vulkanes erscheinen.“ — S. 652, Z. 14 v. u. e.: Dahl (Zur Frage der Bildung von Koralleninseln, Zool. Jahrb., XI, S. 141 ff.) macht darauf aufmerksam, dass die Zeichen von Hebung und Senkung im Bismarck-Archipel in unmittelbarster Nähe vielfach abwechseln, was bei der Abwägung der einzelnen Theorien zu beachten sein dürfte. — S. 654, Z. 11 v. o. l. Savile Kent. — S. 655, Fig. 134 fehlen die Bezeichnungen a und b. — S. 655, Z. 3 v. u. e.: Die bequemste Uebersicht über Sollas' Forschungen gewährt eine Notiz (Die Untersuchung eines Korallenatolls, U., III., Nr. 22 u. 23). — S. 656, Z. 4 v. o. e.: Vgl. auch Penck, Das grosse australische Wallriff, Wien 1896. — S. 659, Z. 11 v. o. ist [1]; S. 660, Z. 9 v. o. ist [2] zu streichen. — S. 665, Z. 6 v. o. l. A. G. Werner. — S. 681, Z. 7 v. o. e.: Die Andeutungen dieses Abschnittes vervollständigt Keilhack (Die Erhaltung der vorweltlichen Lebewesen, H. E., XII, S. 44 ff.). — S. 685, Z. 6 v. o. e.: Auch ist beizuziehen die treffliche Ueberschau v. Elterleins (Das Vorkommen des Goldes in der Natur, G. Z., III, 11. u. 12. Heft). — S. 685, Z. 18 v. u. e.: Weitere wichtige Litteratur ist folgende: v. Branco, Das Salzlager bei Kochendorf am Kocher und die Frage seiner Bedrohung durch Wasser, Stuttgart 1899; O. Lang, Kalisalzlager, Berlin 1899. Den Vorgang der Ausscheidung der einzelnen Salzarten hat van t' Hoff in einer Serie von Mitteilungen in den Sitzungsberichten der Berliner Akademie (1899) analysiert; freilich sind dieselben nur voll verständlich für den mit den Anschauungen der modernen theoretischen Chemie vertrauten Leser. — S. 686, Z. 28 v. u. e.: Zur Theorie der Torf- und Kohlenbildung äussert sich auch eingehend Renault

(Sur la constitution de la tourbe, C. R., CXXVII, S. 525 ff. — S. 691, Z. 9 v. u. l. qu'elles. — S. 692, Z. 16 v. u. l. Kner. — S. 692, Z. 32 v. o. l. Lévy. — S. 693, Z. 25 v. u. l. M. Hartmann; Z. 6 v. u. l. M. P. statt M. A. P. — S. 695, Z. 16 v. u. l. J. R. Forster. — S. 706, Z. 19 v. o. l. L. Neumann. — S. 708, Z. 13 v. o. e.: Passende Beispiele, insbesondere für die morphometrischen Verhältnisse der (Schwarzwald-)Thäler gibt Grabendoerfer (Beiträge zur Orographie und Geognosie der Umgegend von Pforzheim, ebenda 1894, S. 4 ff.). — S. 713, Z. 8 v. u. l. M. N. B. U. — S. 721, Z. 23 v. o. l. Villarica statt Villaria. — S. 725, Z. 30 v. u. e: Zur Vervollständigung des vor mehr denn einem Jahrzehnt abschliessenden Werkes ist E. Richters Essay (Neue Ergebnisse und Probleme der Gletscherforschung, Wien 1899) zu empfehlen. — S. 749, Z. 13 v. u. sind die Worte Schwinden und Anwachsen zu vertauschen. — S. 755, Z. 3 v. u.; S. 756, Z. 5 v. o.; S. 757, Z. 6 v. u.; S. 758, Z. 12 v. o.; S. 766, Z. 11 v. u.; S. 767, Z. 34 v. o. l. Crammer statt Cramer. — S. 756, Z. 4 v. o. e.: Die schon zu Anfang des XVII. auf Befehl Rudolfs II. und später aufs neue im Auftrage Maria Theresias untersuchten Eishöhlen am Oetscher (Niederösterreich) machten Crammer und Sieger zu ihrem Studienobjekte (Untersuchungen in den Oetscherhöhlen, Gl., LXXV, Nr. 20 u. 21. — S. 759, Z. 16 v. o. l. Kornstruktur. — S. 764, Z. 8 v. o. l. Desor; Z. 15 v. o. l. [213] statt [218]; Z. 32 v. u. l. Bl. statt B. — S. 765, Z. 11 v. u. l. Matthews. — S. 765, Z. 15 v. o. l. Nrn. — S. 766, Z. 39 v. u. l. E. Richter. — S. 771, Z. 13 v. u. l. Putick. — S. 773, Z. 31 v. o. l. Schjerning. — S. 773, Z. 24 v. u. e.: Vgl. auch Sieger, Der Atlas der österreichischen Alpenseen, M. d. ö. A., 1898, Nr. 4. — S. 784, Z. 9 v. u. l. Moostorfheidemoore. — S. 784, Z. 23 v. u. l. Jentzsch. — S. 785, Z. 25 v. u. l. Filarsky. — S. 804, Z. 17 v. u. l. 13. — S. 839, Z. 11 v. o. l. A. B. H. statt A. L. H. — S. 842, Z. 10 v. u. l. C. R. statt R. R.; Z. 4 v. u. l. Thermométrie. — S. 855, Z. 19 v. u. e.: Unter einem etwas anderen Gesichtspunkte findet man die Frage behandelt bei Suess-Goebeler, Die Permanenz der Meerestiefen, A., LXVI, S. 769 ff. — S. 863 soll in Fig. 193 $\rho > r_1$ sein und von einem anderen Punkte, dem Zentrum des nicht schraffierten Kreises, ausgehen. — S. 954 ergänze: Für Gebirgsteile westlich vom Balkan hat Cvijić eine dereinstige Vergletscherung nachgewiesen; für den östlichen Teil scheint eine solche dagegen nach Goetz verneint werden zu müssen.

Bayerische
Staatsbibliothek
München